



ACADEMIA MILITAR

A influência dos arredondamentos na precisão do tiro de Artilharia de Campanha

Autor: Maj Art Humberto Miguel Rodrigues Gouveia

Orientador: TCor Art Élio Teixeira dos Santos

Dissertação de Mestrado

Lisboa, setembro de 2020



ACADEMIA MILITAR

A influência dos arredondamentos na precisão do tiro de Artilharia de Campanha

Autor: Maj Art Humberto Miguel Rodrigues Gouveia

Orientador: TCor Art Élio Teixeira dos Santos

Dissertação de Mestrado

Lisboa, setembro de 2020

RESUMO

Este trabalho de investigação tem como tema a “A influência dos arredondamentos na precisão do tiro de Artilharia de Campanha” e o seu objetivo é verificar o efeito dos arredondamentos utilizados nos procedimentos de tiro de Artilharia de Campanha na precisão do tiro de Artilharia de Campanha. Paralelamente, pretende verificar a necessidade de existência de regras diferenciadas de arredondamento e a possibilidade de adotar uma única forma de arredondamento que se aplique a todos os procedimentos existentes.

Para elaboração deste trabalho foi adotado como método de abordagem o método dedutivo e como método de procedimento o método experimental, combinados com uma análise quantitativa. Para tal procedeu-se à combinação, simulada, dos diversos erros de arredondamento identificados nos métodos de localização de objetivos e na determinação dos Elementos de Tiro, tendo sido determinados os afastamentos relativamente à provável localização dos pontos de impacto, obtidos pela utilização ou omissão de arredondamentos.

Para compreender a influência desses afastamentos na precisão do tiro de Artilharia de Campanha, compararam-se os valores obtidos com os raios de ação eficazes das granadas de Artilharia em uso no Exército Português. Pode concluir-se que os afastamentos originados pela utilização dos arredondamentos, definidos pela doutrina portuguesa para emprego nos métodos de localização de objetivos e na determinação dos Elementos de Tiro, podem ser superiores aos raios de ação das granadas, reduzindo a eficácia do tiro.

Paralelamente, procurou compreender-se se há realmente uma necessidade de utilização destes arredondamentos. Em função dos equipamentos utilizados no Exército Português para a determinação dos elementos em estudo, analisou-se o efeito que outras formas de arredondamento teriam na precisão do tiro e apresentou-se uma forma de arredondamento que permite reduzir significativamente os efeitos identificados e, simultaneamente, simplificar a forma de arredondamento a utilizar nos métodos de localização de objetivos e na determinação dos Elementos de Tiro.

Palavras-chave: Arredondamento, Erro, Precisão, Tiro de Artilharia de Campanha.

ABSTRACT

This research work, under the theme "The influence of rounding on the accuracy of the Field Artillery Fires", aims to verify the effect on the accuracy of the Field Artillery Fires, caused by the rounding procedures used in fires computation. In parallel, it intends to verify the need for differentiated rounding rules and the possibility of adopting a single form of rounding that could be applied to all existing procedures.

The work followed the deductive method as the method of approach, and the experimental method as the method of procedure, combined with a quantitative analysis. Therefore, it was carried out the simulated combination of the various rounding errors identified in the Target Location Methods and in the determination of the Firing Data Elements, and determined the deviations in relation to the probable location of the points of impact, obtained by the use or omission of rounding

To understand the influence of this deviations on the accuracy of the Field Artillery Fires, the obtained values were compared with the effective lethal radius of the Field Artillery munitions in use in the Portuguese Army. It can be concluded that the deviations originated by the use of rounding, defined by the Portuguese doctrine regarding Target Location Methods and Firing Data Elements determination, can be higher than the lethal radius of the ballistics munitions, reducing the fires effectiveness.

At the same time, it was conducted an analysis to understand if there is a real need to use these roundings. Depending on the equipment used in the Portuguese Army to determine the elements under study, it was analyzed the effect that other forms of rounding would have on the fires accuracy and presented a form of rounding that significantly reduces the identified effects and simultaneously simplifies the way of rounding used in Target Location Methods and Firing Data Elements computation.

Keywords: Rounding, Error, Accuracy, Field Artillery Fires.

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1 - ENQUADRAMENTO TEÓRICO..... 5

1.1.	A Artilharia de Campanha.....	5
1.2.	O tiro de Artilharia de Campanha e o novo ambiente operacional	6
1.3.	Precisão no tiro de AC.....	9
1.4.	Pedido de Tiro	12
1.5.	Cálculos dos Elementos de Tiro na AC.....	13
1.6.	Regras de arredondamento	17
1.7.	Erros em cálculo numérico	17

CAPÍTULO 2 - EFEITOS NO PEDIDO DE TIRO 19

3.1.	Arredondamentos na localização por Coordenadas Retangulares.....	19
3.2.	Arredondamentos na localização por Coordenadas Polares.....	21
3.3.	Arredondamentos na localização por desvios métricos em relação a um PR	25
3.4.	Síntese Comparativa	29

CAPÍTULO 3 - EFEITOS NOS ELEMENTOS DE TIRO 31

4.1.	Carga.....	31
4.2.	Graduação de Espoleta	31
4.3.	Direção.....	32
4.4.	Elevação.....	36
4.4.1.	Ângulo de Sítio.....	36
4.4.2.	Correção Complementar do Ângulo de Sítio	38
4.4.3.	Sítio.....	40
4.4.4.	Elevação.....	42
4.5.	Síntese Comparativa	44

CAPÍTULO 4 - NOVA FORMA DE ARREDONDAMENTO 45

5.1.	Pedido de Tiro	45
5.1.1.	Arredondamentos na localização por Coordenadas Retangulares.....	45
5.1.2.	Arredondamentos na localização por Coordenadas Polares.....	46
5.1.3.	Arredondamentos na localização por desvios métricos em relação a um PR	47
5.2.	Elementos de Tiro.....	48
5.2.1.	Graduação de Espoleta	48

5.2.2. Direção.....	48
5.2.3. Elevação.....	51
5.2.3.1. Ângulo de Sítio.....	51
5.2.3.2. Correção Complementar do Ângulo de Sítio	51
5.2.3.3. Sítio	52
5.2.3.4. Elevação	52
5.3. Síntese Comparativa	53

CONCLUSÕES

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Transformação da figura elíptica no Retângulo de Dispersão	11
Figura 2 – Sequência de uma Missão de Tiro no PCT	14
Figura 3 – Efeito do Arred das Coordenadas (imagem não à escala)	20
Figura 4 – Efeito do Arred das coordenadas aos 100 m.....	20
Figura 5 – Efeito do Arred das coordenadas aos 10 m.....	21
Figura 6 – Influência do Arred do RLO na localização do Obj (não à escala)	22
Figura 7 – Afastamento devido ao Arred do RLO em função da Dist OAv-Obj.....	22
Figura 8 – Afastamento devido ao Arred da Dist OAv-Obj.....	23
Figura 9 – Afastamento devido ao Arred do RLO e da Dist OAv-Obj (50 m)	24
Figura 10 – Afastamento devido ao Arred do RLO e da Dist OAv-Obj.....	25
Figura 11 – Afastamento devido ao Arred do RLO e um desvio	26
Figura 12 – Afastamento devido ao Arred do RLO e dois desvios métricos	26
Figura 13 – Afastamento devido aos Arred do RLO e do desvio lateral	27
Figura 14 – Afastamento devido aos Arred do RLO e do desvio em Dist.....	28
Figura 15 – Afastamento devido aos Arred do RLO e dos dois desvios.....	28
Figura 16 – Comparação entre afastamento e raio de ação da granada.....	30
Figura 17 – Comparação entre afastamento e raio de ação da granada.....	35
Figura 18 – Influência do Arred da Cota no AngSi.....	36
Figura 19 – Influência do Arred da Dist no AngSi.....	37
Figura 20 – Frequência de erros no cálculo do Si (TM).....	41
Figura 21 – Frequência de erros no cálculo do Si (TV)	42
Figura 22 – Comparação entre afastamento e raio de ação da granada.....	43
Figura 23 – Comparação do efeito dos Arred das Coordenadas	46
Figura 24 – Afastamento devido ao Arred do RLO (1 mils) e da Dist OAv-Obj (1 m).....	47
Figura 25 – Afastamento devido aos Arred do desvio em Dist.....	48
Figura 26 – Comparação entre ϵ_a na Dc (Doutrina vs cálculos intermédios à décima)	50
Figura 27 – Comparação dos afastamentos originados pelos erros absolutos.....	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Resumos dos Arred utilizados nos métodos de localização de Obj	13
Tabela 2 – Resumos dos Arred utilizados na determinação dos ElemTir	16
Tabela 3 – Afastamentos obtidos nos diferentes métodos de localização	29
Tabela 4 – Afastamentos obtidos para diferentes intervalos de GEp	32
Tabela 5 – Comparação dos erros obtidos na determinação da Direção	35
Tabela 6 – Influência do Arred da Dist no AngSi	38
Tabela 7 – Influência do Arred da Cota e da Dist no AngSi	38
Tabela 8 – Influência dos Arred no cálculo da CCAS (TM).....	39
Tabela 9 – Influência dos Arred no cálculo da CCAS (Tiro Vertical).....	40
Tabela 10 – Influência dos Arred no cálculo do Si (TM).....	40
Tabela 11 – Influência dos Arred no cálculo do Si (Tiro Vertical).....	41
Tabela 12 – Comparação dos afastamentos obtidos nos ElemTir	44
Tabela 13 – Erros obtidos na Dc (cálculos intermédios a uma casa decimal).....	50
Tabela 14 – Afastamentos obtidos na Localização de Obj pelos dois Arred	53
Tabela 15 – Afastamentos obtidos nos ElemTir pelos dois Arred	53
Tabela 16 – Comparação de Arred utilizados nos métodos de localização de Obj.....	54
Tabela 17 – Comparação de Arred utilizados na determinação dos ElemTir	54
Tabela 18 – Afastamento devido ao Arred das coordenadas aos 100 m (extrato)	I
Tabela 19 – Afastamento devido ao Arred das coordenadas aos 10 m (extrato)	II
Tabela 20 – Afastamento devido ao Arred do RLO nas Coordenadas Polares.....	III
Tabela 21 – Afastamento devido ao Arred do RLO e da Dist (Coordenadas Polares)	IV
Tabela 22 – Afastamento devido ao Arred na localização por desvios métricos	V
Tabela 23 – Afastamento lateral provocado pelos Arred na Direção.....	VI
Tabela 24 – Influência do Arred da Cota no AngSi	VII
Tabela 25 – Influência do Arred da Distância no AngSi.....	VII
Tabela 26 – Influência do Arred da Cota e da Distância no AngSi.....	VIII
Tabela 27 – Influência dos Arred no Cálculo da CCAS e do Si	IX
Tabela 28 – Afastamento longitudinal provocado pelos Arred na Elevação	X

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Arredondamento das Coordenadas aos 100 m (E e N)	I
Apêndice B – Arredondamento das Coordenadas aos 10 m (E e N)	II
Apêndice C – Arredondamento do RLO nas Coordenadas Polares	III
Apêndice D – Arredondamento do RLO e distância (polares)	IV
Apêndice E – Arredondamentos na localização por desvios métricos	V
Apêndice F – Arredondamentos na Direção.....	VI
Apêndice G – Arredondamentos no cálculo do AngSi.....	VII
Apêndice H – Arredondamentos no cálculo da CCAS e do Si	IX
Apêndice I – Arredondamentos na Elevação	X

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ABCA – *American, British, Canadian, Australian*

AC – Artilharia de Campanha

AngSi – Ângulo de Sítio

AquisObj – Aquisição de Objetivo

Alg – Alongar

ArcTg – arco tangente

Arred – arredondamento(s)

bf – boca de fogo

Btr – Bateria

CCAS – Correção Complementar do Ângulo de Sítio

ChPCT – Chefe do PCT

Coord – Coordenadas

Cor Teo Dc – Correção Teórica de Direção

Cor Tot Dc – Correção Total em Direção

Cor Dc TTG – Correção de Direção para a TTG

Cor Res Dc – Correção Residual de Direção

Dc – Direção

Dc Reg – Direção de Regulação

Dc Top – Direção Topográfica

Dist – distância

Dist Top – Distância Topográfica

E – Este(s)

ElemTir – Elementos de Tiro

Elev – Elevação

Enc – Encurtar

EME – Estado Maior do Exército

EP – Exército Português

FCCS – Fator de Correção Complementar de Sítio

FM – *Field Manual* (Manual de Campanha)

GB – Goniómetro de Bússola

GEp – Graduação de Espoleta

km – Quilómetros

LG – *Light Gun*

m – Metros

mm – Milímetros

MC – Manual de Campanha

mils – Milésimos

MT – Missão de Tiro

N – Norte(s)

OAv – Observador Avançado

Obj – Objetivo (s)

OAZR – Orla Anterior da Zona de Resistência

OpPlan – Operador Planimétrico

OpSi – Operador de Sítios

PCT – Posto Central de Tiro

PDE – Publicação Doutrinária do Exército

PMI – Ponto Médio de Impactos

PO – Posto de Observação

PR – Ponto de Referência

Prep Exp – Preparação Experimental

Prep Teo – Preparação Teórica

RLO – Ruma da Linha de Observação

RS – Régua de Sítios

s – Segundo(s)

Si – Sítio

TDD – Transferidor de Direção e Distâncias

TM – Tiro Mergulhante

T – Tempos

TTG – Tábua de Tiro Gráfica

TTN – Tábua de Tiro Numérica

TV – Tiro Vertical

u.g.e. – Unidade de Graduação de Espoleta

USDA – United States Department of the Army

VT – *Variable Time*

ϵ_a – Erro absoluto

ϵ_x – Desvio Provável em Alcance

ϵ_y – Desvio Provável em Direção

ΔE – Diferença de Estes

ΔN – Diferença de Nortes

ΔGE_p – Variação de Graduação de Espoleta

ΔZ – Diferença de Cotas

INTRODUÇÃO

O século XXI trouxe às operações militares um novo paradigma. O ambiente operacional alterou-se significativamente e as operações militares passaram a desenvolver-se essencialmente em meio urbano, no seio da população. A necessidade de limitar os danos colaterais, tanto na população como nas infraestruturas críticas, obrigou a Artilharia de Campanha (AC), até então essencialmente predestinada a bater objetivos (Obj) de área, a elevar os seus níveis de precisão. Os países que combatem neste novo ambiente operacional apostaram fortemente no desenvolvimento de projéteis de Artilharia capazes de obter precisões nunca antes vistas, de modo a bater Obj com eficácia e minimizar os efeitos colaterais.

A precisão destes novos projéteis permite-lhes atingir os mesmos efeitos com um menor consumo de munições e, simultaneamente, contribuir para aumentar a sobrevivência das unidades executantes, uma vez que diminuem o seu período de exposição aos radares inimigos, mas tal acarreta custos elevados.

Sendo espectável que os projéteis convencionais e os projéteis guiados (de precisão) continuem a coexistir, colmatando as respetivas vulnerabilidades, torna-se pertinente compreender de que forma o cálculo dos Elementos de Tiro (ElemTir) para as munições convencionais poderá adaptar-se à necessidade da maior precisão.

Analisando os procedimentos de tiro de AC em vigor no Exército Português, definidos na PDE 3-38-13 – tiro de Artilharia de Campanha, constatamos a existência de diferentes formas de arredondamento (Arred), associadas às diferentes técnicas e procedimentos definidos. Se nesta publicação fizermos uma pesquisa pelo radical “arredonda” obtém-se 178 ocorrências, associadas a diferentes sufixos como “da”, “do” e “mentos”, entre outros. Este facto é demonstrativo da frequência de utilização dos arredondamentos no tiro de AC. Embora se possa pensar que as normas nacionais que regulam o tiro se encontram desatualizadas, verificamos que as publicações de referência sobre este assunto (TC 3-09.81 – *Field Artillery Manual Cannon Gunnery* de 2016 e ATP 3-09.30 – *Observed Fires* de 2017) contemplam ainda grande parte das mesmas formas de arredondamento.

Consequentemente, a utilização de diferentes procedimentos de Arred, em situações ou elementos semelhantes, dificulta a sua aplicação, quer pelos militares em formação, quer em exercícios ou em operações. É muito frequente, entre os formandos destinados às funções

de Observação Avançada e do Posto Central de Tiro (PCT), o erro na elaboração de Pedidos de tiro ou na determinação dos ElemTir, em função da incorreta utilização do Arred definido.

Apesar de o recurso aos sistemas automáticos constituir o presente e o futuro da Artilharia, o cálculo manual do tiro de AC continua a ser fundamental uma vez que constitui a única alternativa em caso de falha dos sistemas automáticos. Cumulativamente, a perfeita assimilação do cálculo manual permite aos executores a compreensão do funcionamento dos sistemas de cálculo automático, razão pela qual deverá continuar a ser um dos pilares da formação dos quadros de Artilharia.

Face ao exposto, este estudo tem por objetivo verificar qual a influência dos arredondamentos utilizados nos procedimentos de tiro de AC na precisão do tiro de AC. Paralelamente, pretende verificar a necessidade de existência de regras diferenciadas de Arred e a possibilidade de adotar uma única forma de Arred que se aplique a todos os procedimentos existentes. Uma vez que a Artilharia moderna procura cada vez mais a precisão, importa perceber a dimensão dos desvios métricos que os arredondamentos originam no tiro de AC, sem ignorar a necessária celeridade do cálculo requerida pela execução de fogos indiretos oportunos.

Para este efeito, a presente Dissertação que concorre para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares na especialidade de Artilharia, tem como Questão Central (QC) “É possível utilizar uma única forma de Arred no cálculo do tiro de AC, sem perdas significativas na precisão?”. Esta encontra-se estruturado em 4 capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma síntese dos principais conceitos relativos ao tiro de AC, à precisão do tiro e ao cálculo dos ElemTir. O Capítulo 2 apresenta a influência dos arredondamentos utilizados nos métodos de localização de Obj (patentes no Pedido de Tiro) na precisão do tiro realizado, comparando os afastamentos provocados pelos arredondamentos com o raio de ação das granadas de AC em utilização no Exército Português (EP). No Capítulo 3 é seguida a mesma lógica do Capítulo 2, mas para compreender a influência dos arredondamentos utilizados na determinação dos ElemTir. No Capítulo 4 é apresentada uma forma de Arred que permita simultaneamente o aumento da precisão do tiro de AC e a simplificação dos processos utilizados. Por fim, são apresentadas as conclusões da investigação, como resposta à Questão Central, bem como a bibliografia utilizada.

Seguidamente pretende-se apresentar a orientação metodológica utilizada nesta investigação.

Dado que a utilização de Arred no tiro de AC abrange um vasto leque de técnicas e situações, este estudo foi delimitado aos Arred utilizados nos métodos de Localização de

Objetivos e na determinação dos ElemTir, definidos na doutrina portuguesa, por serem os fatores que diretamente mais concorrem para a influência na precisão do tiro de AC.

De modo a atingir os objetivos supramencionados, levantaram-se três Questões Derivadas (QD) para auxiliar na resposta à QC. Com a QD n.º 1: “Que desvio métrico, relativo à localização do objetivo, resulta da utilização de arredondamentos no Pedido de Tiro?” e a QD n.º 2: “Que desvio métrico, relativo à localização do objetivo, resulta da utilização de arredondamentos no cálculo dos Elementos de Tiro?” procurou identificar-se a influência que os arredondamentos utilizados nos métodos de localização de Obj e na determinação dos Elementos de Tiro produzem na precisão do tiro de AC. A QD n.º 3: “Qual o desvio métrico mínimo obténível através da adoção de uma única forma de arredondamentos nos procedimentos utilizados no Posto Central de Tiro e pelo Observador Avançado? procurou verificar a existência de outras formas de arredondamento que permitam reduzir o impacto da sua utilização na precisão do tiro de AC. A resposta às 3 QD concorre para a resposta à QC anteriormente identificada, na tentativa de encontrar um novo processo de arredondamentos que permita, simultaneamente, simplificar o processo de arredondamento atualmente definido e reduzir o impacto da sua utilização na precisão do tiro de AC.

Como método de abordagem, utilizou-se o método dedutivo e como o método de procedimento o método experimental, combinados com uma análise quantitativa. Procurou criar-se uma série de simulações, através da utilização do Excel, considerando os Arred mais significativos de cada elemento, os que originam maiores erros e, consequentemente, maiores desvios, combinando com os erros dos outros elementos para poder deduzir o desvio ou afastamento das espectáveis localizações dos pontos de impacto relativamente aos pontos de impacto que se obteriam se não fossem utilizados os Arred.

Para construção das tabelas relativas aos métodos de localização de Obj foram consideradas as distâncias entre os 600 e os 3000 metros (m), refletindo as distâncias de observação permitidas pelos equipamentos disponíveis no Exército Português e as distâncias táticas a que o OAv se encontra do Inimigo. Foi, ainda, considerado uma distribuição azimutal de 6400 mils em torno da posição do OAv, simulando que os Obj poderiam surgir em qualquer direção. Considerando estes pressupostos, procurou obter-se os erros de afastamento resultantes da utilização de Arred em cada elemento definido no método de localização de Obj e o afastamento obtido da combinação dos erros absolutos dos vários elementos que constituem cada método de localização.

Para as tabelas relativas à determinação dos ElemTir foram consideradas distâncias a partir dos 3000 m, Dist mínima a que a AC se encontra da frente de batalha, e até ao alcance máximo dos materiais em uso no EP. Para as diferenças de Cotas consideraram-se os valores considerados na Tabela B das TTN dos materiais considerados, ± 400 m. Tal como procedidos para os métodos de localização de Obj, procurou identificar-se a influência de cada elemento e a influência da combinação dos erros de diferentes elementos.

Por fim, utilizando derivações das tabelas inicialmente construídas, procurou identificar-se a forma de Arred que menor impacto teria na precisão do tiro e, desta forma, deduzir uma nova forma de Arred de aplicação mais simples e, simultaneamente, com reduzida afetação da precisão do tiro.

Para análise dos dados obtidos recorreu-se à construção de tabelas e gráficos que sintetizassem a informação obtida, de forma a deduzir os afastamentos produzidos na localização dos impactos pela utilização de Arred e compará-los com os raios de ação das granadas em utilização no Exército Português e, assim, deduzir-se a significância desse impacto na precisão do tiro.

A redação deste Trabalho de Investigação rege-se pelo modelo definido pela Norma de Execução Permanente número 522/1. ^a que regula a redação dos Trabalhos de Investigação na Academia Militar, datada de 20 de janeiro de 2016.

CAPÍTULO 1 - ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O presente capítulo tem a finalidade de apresentar e clarificar um conjunto de conceitos que se consideram pertinentes para um melhor entendimento da problemática em questão.

1.1. A Artilharia de Campanha

O Sistema de Artilharia de Campanha, parte integrante do sistema de apoio de fogos (EME, 2004), é segundo o FM 3-09 *Field Artillery Operations and Fire Support*, o principal meio de que um comandante dispõe para fornecer, de forma contínua, fogos indiretos em apoio das operações da manobra (2014).

A sua missão é destruir, neutralizar ou suprimir o inimigo integrando todos os meios de apoio de fogos para permitir que os comandantes da manobra dominem as operações terrestres (USDA, 2012). A AC fornece fogos contínuos, sob quaisquer condições climáticas e em todos os tipos de terreno, e pode mudar rapidamente de Obj ou executar fogos de massa sem ter de se deslocar (USDA, 2014).

A AC apoia as operações terrestres e aéreas, atacando a força inimiga em toda a profundidade das suas formações, incluindo o ataque a Obj específicos como a supressão das defesas aéreas inimigas. Os fogos de AC permitem atacar com precisão Obj localizados a grandes distâncias, e que outros meios não podem atacar sem correr riscos significativos (USDA, 2014).

O FM 3-09 identifica como principais limitações da AC a existência da “assinatura do tiro”, que torna as unidades de tiro vulneráveis à deteção pelos meios de aquisição de Obj inimigos, a limitada capacidade de autodefesa contra ataques terrestres e aéreos e a sua dificuldade em bater Obj em movimento (2014).

Na doutrina portuguesa, que por norma tem por referência a doutrina americana, “A AC constitui o meio terrestre de apoio de fogos mais poderoso que o Comandante de uma força tem à sua disposição para influenciar o decurso do combate.” (EME, 2004, p. 3-1) e a sua missão consiste na execução de fogos de “...supressão, neutralização e destruição, através dos seus sistemas de armas e integra todo o apoio de fogos nas operações da força.” (EME, 2004, p. 3-1).

Apesar da diferença verificada nas datas de publicação das referências enunciadas, pode constatar-se que os conceitos são muito idênticos e que se mantêm atuais os conceitos doutrinários portugueses, no que se refere ao papel da AC, podendo considerar-se que

“A AC é a arma dos fogos potentes, largos e profundos, com possibilidade de assegurar uma permanente disponibilidade de fogos no Espaço de Batalha. Constitui, assim, um multiplicador do Potencial de Combate por excelência, uma vez que, a sua disponibilidade permite aplicar concentrações de fogos indiretos onde forem considerados remuneradores.” (EME, 2012, p. 123).

Para que a AC seja realmente um elemento multiplicador do potencial de combate é necessário que as suas três componentes funcionem em perfeita sintonia. O Sistema de Artilharia de Campanha é constituído pelas componentes Aquisição de Objetivos (AquisObj), Comando, Controlo e Coordenação e Armas e Munições (EME, 2004).

A AquisObj é responsável pela deteção, identificação e localização de Obj com precisão que permita o efetivo emprego dos sistemas de armas (USDA, 2013). A AquisObj para a AC é realizada por observadores avançados e radares de localização de armas, podendo integrar também meios dos elementos de manobras, aeronaves não tripuladas e outros meios de recolha que concorram para o plano de informações (USDA, 2014).

A componente Comando, Controlo e Coordenação é responsável por dirigir as ações táticas e técnicas necessárias para bater rápida e eficazmente os Obj (EME, 2004). É responsável pelo planeamento, definição do plano de emprego dos meios disponíveis, e pela coordenação, implementação das medidas necessárias à execução do planeamento e controlo dos meios, de todo o apoio de fogos (EME, 2004).

A componente Armas e Munições integra os meios de apoios de fogos disponíveis e é responsável por colocar em prática o planeamento executado pela componente Comando, Controlo e Coordenação através da execução de fogos indiretos sobre os Obj determinados, procurando obter, de forma eficaz e eficiente, os efeitos desejados no Obj (EME, 2004).

1.2. O tiro de Artilharia de Campanha e o novo ambiente operacional

“O tiro de AC deve responder tecnicamente às exigências do apoio de fogos no moderno Espaço de Batalha, de forma a garantir... prontidão de resposta, a sobrevivência das Unidades de tiro e possibilitar a sua mobilidade e flexibilidade de emprego.” (EME, 2012).

O século XXI trouxe às operações militares um novo paradigma. O ambiente operacional alterou-se significativamente e as operações militares passaram a desenvolver-se, essencialmente, em meio urbano e no seio da população. A presença de civis não combatentes e a necessidade de preservar as infraestruturas críticas, passaram a fazer parte da nova realidade. Quando as operações têm por finalidade o restabelecimento da paz num país em crise, não é espectável que o restabelecimento da paz provoque mais baixas entre a

população do que aquelas que, até então, ocorriam. Torna-se espectável que sejam asseguradas as condições de funcionamento das infraestruturas críticas do país, que sejam mantidas as capacidades mínimas de sobrevivência da população e que se contribua para a rápida recuperação do país em conflito (Grilo, 2010).

Esta alteração no ambiente operacional impôs às operações militares uma nova condicionante, a necessidade de limitar os danos colaterais tanto na população como nas infraestruturas. Consequentemente, a AC, até então uma arma essencialmente predestinada a bater Obj de área, viu-se obrigada a elevar os seus níveis de precisão.

Apesar do primeiro projétil de Artilharia guiado existir desde a década de 80 do século XX, as limitações que este apresentava não foram suficientes para fazer face a esta nova realidade. O projétil Cooperhead, guiado na fase final da sua trajetória por designador laser, elevava a precisão da Artilharia, mas apresentava duas grandes limitações, a impossibilidade de atingir Obj não observados pelo operador do designador laser e o facto de apresentar fraca precisão contra Obj envoltos em neblina ou fumos.

Fruto destas condicionantes, os EUA desenvolveram o projétil M982 Excalibur, um projétil guiado através de GPS. Este projétil garante um erro máximo de 10 m mas, na maioria das situações, o erro não ultrapassa os 2 m de erro circular, independentemente da distância (Dist) a que é disparado, tendo ampla utilização nos Teatros de Operações do Iraque e do Afeganistão (DAMIR, 2015). Inicialmente, possuía um alcance de 40 quilómetros (km) mas as versões mais recentes já permitem ultrapassar os 50 km. Ainda assim, o Excalibur não está desprovido de desvantagens, pois a sua dependência do sistema GPS pode constituir-se uma dificuldade quando empregue em ambientes com grande utilização da guerra eletrónica ou em caso de falha daquele sistema. Outros inconvenientes prendem-se com o seu elevado custo de aquisição quando comparado com os projéteis convencionais e o facto de não ser eficaz contra Obj em movimento (DAMIR, 2015).

Por estas razões existem alguns fabricantes de sistemas de navegação que defendem que os meios inerciais ou a iluminação do Obj são as melhores formas de orientação. A Rússia apostou em melhorar o análogo soviético do projétil Cooperhead, o Krasnopol. O Krasnopol original tinha características e princípios de orientação semelhantes ao Cooperhead, mas os desenvolvimentos mais recentes permitem bater Obj em movimento que se desloquem a velocidades inferiores a 36 km/h. A solução pode estar na junção das duas tecnologias de orientação e, talvez por isso, os EUA se encontrem a desenvolver o Excalibur S, versão que pretende dispor de guiamento por GPS e simultaneamente guiamento por designador laser (Szondy, 2020).

Enquanto a busca pela munição perfeita continua, há uma certeza que fica, a AC é cada vez mais uma arma de precisão. Por exemplo o combate em áreas edificadas sintetiza a importância da precisão com a eficácia da artilharia devido à presença de civis e à facilidade em o adversário escolher posições desafiadas, obrigando à utilização de trajetórias de Tiro Vertical (TV). Os Obj encontram-se mais próximos das Nossas Tropas ou dos cidadãos, o que exige maior precisão do tiro para evitar danos colaterais e danos em infraestruturas importantes para a população local ou mesmo de valor patrimonial incalculável para a população mundial. A utilização de trajetórias verticais, que originam maior dispersão do tiro e menor precisão, aumenta exponencialmente a exposição das unidades de AC, uma vez que a grande altitude atingida pelas trajetórias assim como a grande duração do trajeto, contribuem para uma maior probabilidade de detecção por parte dos meios de detecção adversários. A doutrina portuguesa prevê a utilização de Tiro Vertical, mas dá claramente preferência à utilização do Tiro Mergulhante (TM) por ser a técnica que melhor se adapta ao combate convencional. Apesar de estabelecer técnicas de precisão, está vocacionada para bater Obj de área e as suas táticas dão preferência às posições estáticas em detrimento de uma aposta na mobilidade.

Os projéteis de Artilharia guiados têm preços bastante elevados, mas a sua precisão permite atingir os mesmos efeitos com um menor consumo de munições e, simultaneamente, contribuir para aumentar a sobrevivência das unidades executantes, uma vez que diminuem o seu período de exposição aos radares inimigos. Contudo, é espectável que os projéteis convencionais e os projéteis guiados continuem a coexistir para colmatar as vulnerabilidades comuns.

A escolha do projétil é uma decisão do Chefe do Posto Central de Tiro (ChPCT), em função das condicionantes verificadas e da importância do Obj a bater. Mas para que o ChPCT possa tomar tal decisão, os elementos fornecidos pelos meios de aquisição de Obj têm de corresponder a tal exigência. De nada servirá empregar um projétil que garanta elevada precisão, sobre um Obj considerado bastante remunerador, se o Obj não tiver sido localizado por um meio que confira igual ou maior precisão na localização.

O cálculo automático dos ElemTir é, atualmente, uma realidade que permite à AC bater os Obj de forma muito mais célere, mas, tal como os projéteis convencionais permitem colmatar as lacunas dos projéteis guiados, o cálculo manual constitui-se como alternativa ao cálculo automático em caso de falha deste.

É importante que o processo de cálculo manual seja simples e preciso, que se traduza na precisão requerida ao tiro a empregar em todos os tipos de ambientes operacionais e que

esteja munido de mecanismos e de ferramentas que afiancem um tempo de resposta aceitável, o que não se verifica atualmente.

1.3. Precisão no tiro de AC

Do exposto anteriormente, facilmente se compreende que o conceito precisão é, na atualidade, de extrema importância para a AC.

Segundo o *ATP 3-09.30 - Observed Fires*, a localização precisa do Obj é fundamental para o emprego de munições guiadas mas também beneficia a utilização das munições convencionais, reduzindo consideravelmente o número de tiros necessários disparar para regulação do tiro (2017).

Sendo o termo precisão cada vez mais indissociável da AC, importa compreender qual o seu significado, em que contextos é utilizado na AC e quais as condicionantes que afetam a sua obtenção.

O termo precisão pode adotar diferentes significados. Segundo o dicionário da Língua Portuguesa, a palavra precisão deriva do latim *praecisiōne*, que significa “golpe” e pode adotar os seguintes significados: “qualidade daquilo que é preciso, exato; exatidão; concisão; pontualidade; regularidade; reprodutibilidade dos valores obtidos em medições sucessivas da mesma grandeza; carência de alguma coisa necessária ou útil ou necessidade.”

Quando utilizado no âmbito da engenharia para caraterizar medições adquire o significado de “...grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou objetos similares, sob condições específicas.” (Almacinha, 2016, p.8). Tal como consta da definição do dicionário, o termo exatidão está relacionado com o de precisão, contudo, em engenharia é definido como “...grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro de uma mensuranda.” (Almacinha, 2016, p.8). Em engenharia, apesar de, erroneamente, muitas vezes o termo precisão ser utilizado para designar a exatidão de medição, e apesar de existir relação entre ambos os conceitos, estes termos não devem ser utilizados como sinónimos um do outro (Almacinha, 2016).

Quando na AC se emprega o termo precisão associado à localização de Obj, está a mencionar-se a aproximação das coordenadas determinadas com a localização real do Obj. Quando o termo é associado às munições, refere-se àquelas que são capazes de acertar no Obj ou o mais próximo possível deste. Quando se associa o termo à construção da Prancheta de tiro ou ao cálculo dos ElemTir, está a definir-se o modo como a prancheta deve ser construída ou como os elementos devem ser calculados, de forma a evitar erros, ou seja,

procurar que os elementos determinados sejam os mais próximos possível dos valores reais ou mais corretos. Por vezes, estes elementos não são determinados com maior precisão devido à utilização de um instrumento ou métodos menos precisos que impedem uma maior aproximação aos valores reais e obtenção do nível de precisão desejado.

Em suma, pode afirmar-se que o significado dado ao termo precisão na AC não coincide com o utilizado em engenharia, aproxima-se antes do termo exatidão. Na AC é imperativo que se verifique repetibilidade de medições ou acontecimentos, se com apenas um tiro se acertar no Obj pode afirmar-se que este foi preciso. Quando se emprega o termo precisão na AC, estamos a referir-nos à aproximação do valor real, ou seja, estamos a ir ao encontro da definição de exatidão na terminologia de engenharia. A Exatidão do cálculo dos ElemTir leva à precisão do tiro da Artilharia.

Definido o significado do termo precisão em termos do seu emprego em AC, importa agora apresentar as razões que afetam o tiro de AC. O tiro de AC caracteriza-se por ser tiro indireto, ou seja, não apontado diretamente sobre o Obj. Também se caracteriza pelas suas longa trajetória e trajetórias curvilíneas que por vezes percorrem várias camadas da atmosfera. Por estas razões, são diversos os fatores que afetam o comportamento do projétil, desde os que se passam no interior do tubo àqueles que caracterizam o seu deslocamento na atmosfera e até mesmos os terminais na zona do Obj. Destacam-se os fenómenos que ocorrem no interior do tubo com influência na velocidade inicial projétil, a existência de vento, de derivação, a variação de temperatura e densidade do ar, a título de exemplo, como alguns, de entre muitos, dos mais importantes fatores que condicionam a precisão do tiro executado pela AC.

Fruto destas condicionantes, se for executada uma série de tiros, disparados em condições idênticas, com os mesmos ElemTir, sobre um único ponto, é quase impossível que se obtenha coincidência de pontos de impacto para a série de tiros realizada (EME, 2012). Este fenómeno tem o nome de dispersão e está sempre presente no tiro de AC. Observações sobre este fenómeno permitiram constatar que, de uma série de tiros realizados, os múltiplos pontos de impacto formam uma figura que é, grosseiramente, elíptica, Figura 1, com o eixo maior orientado segundo direção do tiro. Para efeitos de estudos balísticos converteu-se a figura elíptica num retângulo e designou-se por Retângulo de Dispersão o mais pequeno retângulo, que tem como eixos a direção de tiro e uma perpendicular a ela, passando pelo Ponto Médio de Impactos (PMI), que se possa construir de forma a incluir todos os pontos de impacto (EME, 2012).

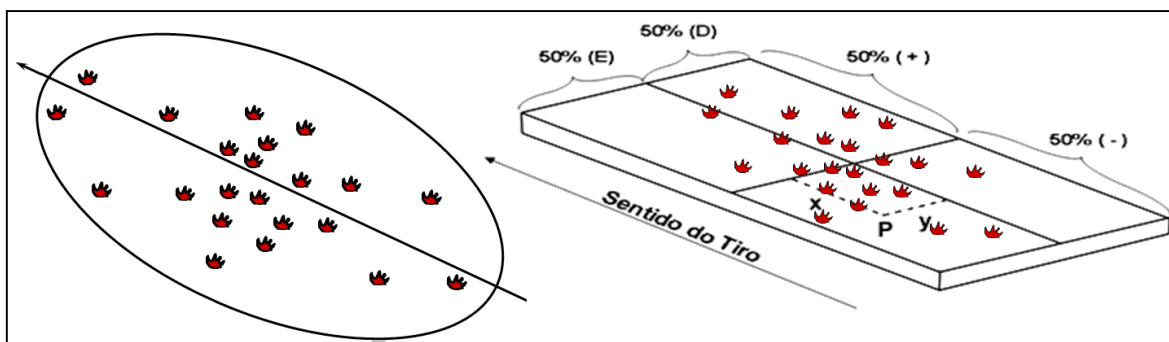


Figura 1 – Transformação da figura elíptica no Retângulo de Dispersão

Fonte: Adaptado da PDE 3-38-13 (2012)

Da análise do Retângulo de Dispersão verifica-se que, ao traçar a mediana no sentido do tiro e a mediana perpendicular ao sentido do tiro, 50% dos tiros se encontram à direita do PMI e 50% encontram-se à esquerda, bem como 50% são compridos e 50% são curtos (EME, 2012).

Se, no Retângulo de Dispersão, definirmos duas paralelas à mediana perpendicular à direção do tiro de modo a que uma linha limite a melhor metade dos tiros curtos e a outra a melhor metade dos tiros compridos, verifica-se que estas duas retas são equidistantes do PMI. Designa-se por Desvio Provável em Alcance (ϵ_x), a Dist do PMI a cada uma das referidas retas. Analogamente, se traçarmos duas retas paralelas à mediana no sentido do tiro, limitando a melhor metade dos disparos à esquerda e a melhor metade dos impactos à direita, verificamos que são equidistantes do PMI.

O desvio provável, quer em alcance, quer em direção, apresenta-se, pois, como um desvio tal que o número de desvios que lhe são superiores é igual ao número dos que lhe são inferiores. Por outras palavras, é o desvio que tem igual probabilidade (50%) de ser ou não excedido.

Para qualquer quadro de dispersão normal, a experiência demonstra que quatro desvios prováveis em alcance e em direção, para um e outro lado do PMI, incluirão todos os tiros. Demonstra ainda que os pontos de impacto se repartem simetricamente em relação ao PMI e a partir deste ponto, nas seguintes proporções: 25%, 16%, 7% e 2%, nas faixas que se sucedem, no sentido do centro para a periferia. Os desvios prováveis em alcance, ϵ_x , e em direção, ϵ_y , vêm referidos nas Tábuas de tiro Numéricas (TTN) e podem ser tomados como um índice de precisão da boca de fogo (bf) (EME, 2012).

1.4. Pedido de Tiro

Segundo a doutrina nacional, o Pedido de Tiro é uma mensagem clara e concisa, preparada pelo OAv, contendo todas as informações necessárias ao PCT, para escolher o Método de Ataque ao Obj e determinar os ElemTir. Desta mensagem consta a localização do Obj, elemento que interessa a este estudo, que pode fazer-se por vários processos, em função dos meios disponíveis e das condições de observação: por coordenadas retangulares, por desvios métricos em relação a um Ponto de Referência (PR) e por Coordenadas Polares ou pelo tiro (EME, 2012).

A localização do Obj permite ao PCT marcar o Obj na prancheta (ou introduzi-lo no computador), com vista à determinação dos ElemTir. Segundo o PDE 3-38-00, quando utilizado o método de localização por coordenadas retangulares, “...estas deverão ser enviadas com uma maior precisão de 100 m (6 dígitos). Coordenadas com maior precisão (8 dígitos), são para localizar PR, ou outros pontos, para os quais é necessário um maior rigor.” (EME, 2012, p. 3-3). Este método contempla, ainda, o envio do Rumo da Linha de Observação (RLO), integrado no Pedido de Tiro ou aquando do envio da primeira correção, uma vez que o PCT não necessita deste elemento para localizar o Obj. O rumo deverá ser enviado arredondado aos 10 milésimos (mils).

Quanto ao método de localização por Coordenadas Polares, o OAv localiza o Obj através da indicação do RLO arredondado aos 10 mils e a Dist ao Obj arredondada aos 100 m. É ainda enviada a diferença de Cotas (ΔZ), arredondada aos 5 m, ou o Ângulo de Sítio, arredondado ao milésimo, entre a sua posição e o Obj.

Na localização de Obj a partir de um PR, o ponto deve ser do conhecimento do OAv e do PCT. O OAv envia o RLO, arredondado à dezena de mils¹, o desvio lateral (Esquerda ou Direita, arredondado aos 10 m), o desvio em Dist (Encurtar ou Alongar, arredondado aos 100 m) e o desvio vertical (Acima ou Abaixo, arredondado aos 5 m) (EME, 2012).

A localização pelo tiro², não contempla a utilização de arredondamentos (Arred) e, por essa razão, não será detalhada. De seguida, apresenta-se a Tabela 1 que resume os Arred utilizados nos diferentes métodos de localização de Obj.

¹ O regulamento contempla também a possibilidade de o OAv utilizar graus e direções dos pontos cardeais.

² Consiste na execução de um tiro para a zona de observação do OAv e posterior correção para o objetivo.

Tabela 1 – Resumos dos Arred utilizados nos métodos de localização de Obj

Localização	Item	Arredondamento
Coordenadas Retangulares	Coordenadas	10 m (Precisão) 100 m (Área)
	Cota	5 m
	RLO	10 mils
Desvios Métricos	RLO	10 mils
	Desvio em direção	10 m
	Desvio em distância	100 m
	Desvios em altura	5 m
Coordenadas Polares	RLO	10 mils
	Distância	100 m
	Desvios em altura	5 m
	Ângulo de Sítio	1 mils

1.5. Cálculos dos Elementos de Tiro na AC

Os ElemTir são, segundo a PDE 3-38-13 (2012) a Carga, a Graduação de Espoleta (GEp), quando necessária, a Direção (Dc) ou o Rumo³ e a Elevação. Estes elementos são determinados pelo Calculador do PCT da Bateria (Btr) ou, em alternativa, pelos Calculadores do PCT do Grupo, quando determinado pelo seu ChPCT, que os transforma nos Comandos de tiro a enviar às Secções para que as bf possam executar o tiro. Os ElemTir fornecidos às Secções permitem apontar⁴ as bf sobre o Obj e podem ser iguais para todas as bf ou diferenciados, adaptando o quadro formado pelo tiro à forma do Obj. Podem ser calculados para Obj inopinados ou para Obj planeados e, para a sua determinação, são utilizadas as tábuas de tiro, Numéricas ou Gráficas.

As TTN são o documento base para a obtenção dos elementos balísticos, relativos a cada material, e a sua construção é baseada em parâmetros obtidos na execução de tiro real, posteriormente corrigidos para as condições consideradas padrão. Como a determinação de ElemTir a partir das TTN é um processo moroso, devido a um maior número de operações analíticas a realizar (interpolações⁵), existem as Tábuas de tiro Gráficas (TTG), que expõem graficamente os elementos fundamentais do tiro, extraídos das TTN e que, constituem um instrumento que permite determinar rapidamente os ElemTir (EME, 2012).

³ O FM 6-40 - *Tactics, Techniques, and Procedures for The Field Artillery Cannon Battery* não considera o Rumo um Elemento de Tiro. A PDE 3-38-13 refere-o como tal, mas não aborda a sua utilização.

⁴ Apontar uma bf, consiste na colocação do tubo numa direção e numa inclinação tais que, uma vez feito o disparo, o projétil atinja o objetivo.

⁵ Os valores constantes das TTN são na maioria das vezes apresentados para distâncias de 100 em 100 m. O PCT trabalha com distâncias aos 10 m. Para essas é necessária a interpolação, determinação do valor intercalar por comparação com os valores que o enquadram.

Como referido anteriormente, a determinação dos ElemTir é um dos passos intermédios do processamento de uma Missão de Tiro (MT) que culminam com o envio de Comandos de tiro às Secções de bf. Como se constata na Figura 2, este processo tem início na definição de um Obj, quer seja pelo Observador Avançado (OAv) no caso dos Obj inopinados, ou por qualquer um dos órgãos de planeamento de apoio de fogos no caso dos Obj planeados.

Em qualquer das situações, o PCT recebe a localização do Obj e implanta na Prancheta. O Operador Planimétrico (OpPlan) determina a Distância Topográfica (Dist Top) e a Direção Topográfica (Dc Top) e o Operador de Sítios (OpSi) o Sítio (Si) que são fornecidos ao Calculador. O Calculador, respeitando a Ordem de Tiro recebida do ChPCT, determina os ElemTir e elabora o Comando de tiro a enviar às Secções de bf.

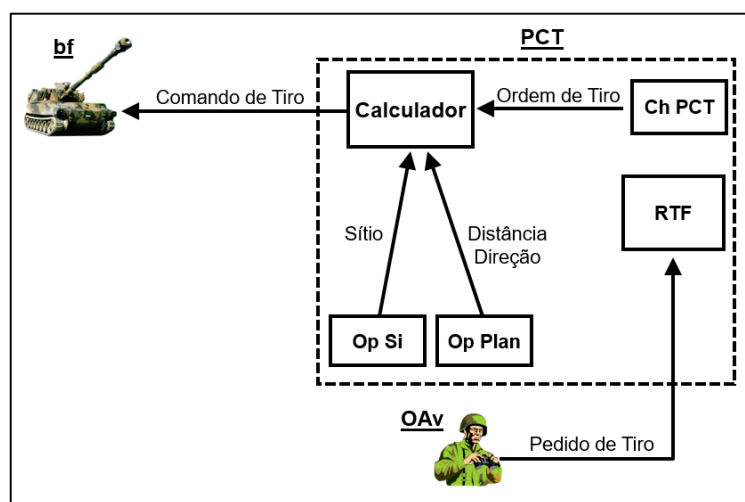


Figura 2 – Sequência de uma Missão de Tiro no PCT

Fonte: Adaptado da PDE 3-38-13 (2012)

Para determinar a Dist Top e a Dc Top, normalmente⁶, é utilizado o Transferidor de Direção e Distâncias (TDD). O TDD tem uma escala para leitura de distâncias, graduado de 50 em 50 m, na escala 1/25000, e permite ler, por estimativa, distâncias com aproximação aos 10 m. Tem ainda um setor de 1000 mils, graduado de 5 em 5 mils, que permite ler direções, por estimativa, com aproximação a 1 mils. Segundo o Regulamento de tiro, os valores determinados pelos operadores Planimétrico e de Sítios só devem ser aceites com diferenças de até 30 m nas distâncias e 3 mils nas direções determinadas. O Si pode ser

⁶ Embora com menor frequência, por vezes podem ser determinados através de cálculo analítico, como por exemplo em missões de tiro de emergência.

determinado utilizando a Régua de Sítios⁷ (RS) ou através de cálculo analítico como à frente se explica.

Na realidade não é totalmente verdade que é o Calculador quem determina todos os ElemTir, porque, à exceção do TV, a escolha da Carga é responsabilidade do ChPCT. A escolha da Carga é feita tendo em consideração as distâncias a bater, a dispersão da carga, o desgaste do material, nomeadamente do tubo do obus, assim como de outros aspetos de natureza tática como a deteção por parte do Inimigo. A carga depois de escolhida pelo ChPCT é definida na Ordem de Tiro Normalizada⁸ e caso seja necessária a sua alteração, por questões técnicas, mantém-se para todas as MT.

A GEp é determinada apenas aquando da utilização de espoletas de Tempos ou de Aproximação, vulgarmente designadas por VT⁹ (*Variable Time*), e é responsável por acionar o funcionamento da espoleta no ponto da trajetória pretendido. A GEp é determinada na Tábuas de tiro em função do valor da Alça mais a Correção Complementar do Ângulo de Sítio (CCAS). Contudo, quando a CCAS não é significativa, se a ΔZ for inferior ou igual a 100 m, a GEp é considerada em função da Alça (EME, 2012).

A Direção é calculada somando a Dc Top¹⁰ recebida do OpPlan e a Correção Total em Direção¹¹ (Cor Tot Dc), quando existe Mensagem de Aferição ou a Correção de Derivação correspondente à Dist ao Obj, se não existir tal mensagem. Obtendo-se assim a Direção Corrigida a enviar às Secções de bf. Para obter a Cor Tot Dc o calculador soma a Correção de Direção para a TTG¹² (Cor Dc TTG) à Correção de Derivação (Cor Drv) correspondente à Dist ao Obj. Nas situações em que se utilizam os rumos em detrimento das Direções é considera-se o Rumo para o Obj e procedendo-se de igual forma para determinar a Cor Tot Dc. Em determinadas situações, consideradas especiais, poderá ser utilizada apenas a Dc Top.

A Elevação é obtida somando a Alça ao Si. A Alça é definida nas Tábuas de tiro para cada Carga em função da Dist e materializa a inclinação a dar ao tubo canhão para que, nas condições balísticas e aerológicas padrão, se atinja um Obj a uma determinada Dist (EME,

⁷ Régua de cálculo especial, tipo logarítmico utilizada essencialmente para o cálculo do AngSi e do Si.

⁸ Definida pelo ChPCT com base na situação tática, tipo e quantidade de munições disponíveis e diretivas do Comandante com a finalidade de acelerar o ataque aos objetivos. Perante uma MT o ChPCT define apenas os elementos diferentes dos normalizados.

⁹ A espoleta VT utiliza um emissor-recetor de radiação que permite a ativação da espoleta à uma altura padronizada. A espoleta conhece a emitir 3 a 5,5 s antes da GEp com que estiver graduada.

¹⁰ A Dc Top é o ângulo formado pela Direção de Vigilância, no Centro de Bateria, com o Rumo para o Obj, contado a partir da DV, no sentido que estiver considerado para o material utilizado (EME, 2012).

¹¹ Correção que visa compensar os fatores que influenciam a Dc (Drv, Vento Transversal e Rotação da Terra).

¹² Valor fixo, desde que se mantenha a carga utilizada na Regulação de Precisão, obtido pela subtração da Correção de Derivação correspondente à Alça de Regulação da Correção Total em Direção.

2012). Se o Obj estiver à mesma cota da bf a Elevação terá o valor da Alça, mas se o Obj ou o ponto de rebentamento desejado estiverem numa cota diferente, torna-se necessário determinar o Si. O Si permite corrigir a diferença de cotas entre a Btr e o Obj. É determinado somando o Ângulo de Sítio (AngSi) e a CCAS (visa corrigir a não rigidez da trajetória), podendo ser determinado analiticamente ou com o auxílio da RS. No cálculo analítico da Elevação utilizam-se as seguintes fórmulas:

$$\text{AngSi (mils)} = \Delta Z \text{ (m)} / D \text{ (km)} \times 1,0186^{13} \quad (1)$$

$$\text{AngSi (mils)} = \text{ArcTg} (\Delta Z \text{ (m)} / D \text{ (m)})^{14} \quad (2)$$

$$\text{CCAS} = \text{AngSi} \times \text{FCCS}^{15} \quad (3)$$

$$\text{Si} = \text{AngSi} + \text{CCAS} \quad (4)$$

$$\text{Elev} = \text{Alça} + \text{Si} \quad (5)$$

A Tabela 2 resume os Arred utilizados na determinação dos ElemTir.

Tabela 2 – Resumos dos Arred utilizados na determinação dos ElemTir

Localização	Item		Arredondamento	
Carga	Único		Não aplicável	
GEp	Único		À décima (u.g.e. ¹⁶ ou s)	
Direção	Direção Topográfica		À unidade (mils)	
	Correções de Dc		À unidade (mils)	
	Direção		À unidade (mils)	
Elevação	AngSi	Diferença de Cotas	À unidade (m)	
		Distância	100 m (km)	
		Coefficiente	Não aplicável	
		AngSi	À décima (mils)	
	Sítio	AngSi	À décima (mils)	
		CCAS	FCCS	Interp para Dist aos 100 m
			AngSi	À décima (mils)
		CCAS	À décima (mils)	
		Sítio	À unidade (mils)	
	Alça		À unidade (mils)	
	Elevação		À unidade (mils)	

¹³ Introduzido na PDE 3-38-13 (2012) de forma a aumentar a precisão do AngSi. A fórmula de cálculo baseia-se na regra do milésimo que convencionou que uma circunferência tem 6400 mils e vez do valor real, 6283 mils. O valor 1,0186 permite a transformação do ângulo obtido de forma imprecisa num ângulo mais preciso.

¹⁴ Para AngSi superiores a ±100 mils a fórmula (1) é pouco precisa pelo que deve utilizar-se esta fórmula.

¹⁵ FCCS – Fator de Correção Complementar de Sítio.

¹⁶ Unidade de Graduação de Espoleta.

1.6. Regras de arredondamento

A Norma Portuguesa 37 (2009) estabelece a metodologia a utilizar no arredondamento de valores numéricos. Segundo esta norma, o arredondamento de um número consiste em

“Substituí-lo por outro número em que os algarismos, cuja ordem é inferior à de uma determinada casa, foram trocados por zeros, se pertencerem à parte inteira, ou suprimidos, se pertencerem à parte decimal, e em que o algarismo correspondente a essa última casa se manteve inalterado, ou se aumentou de uma unidade...” (IPQ, 2009, p. 3).

Esta refere que ao arredondar valores numéricos deve procurar-se cometer o menor erro possível. Se a parte desprezada se inicia por 0, 1, 2, 3 ou 4, deve manter-se inalterado o algarismo da casa arredondada, mas, caso seja por 6, 7, 8, 9 ou for constituída por um 5 seguido de algarismos dos quais pelo menos um é diferente de zero, o algarismo da casa arredondada deve ser aumentado de uma unidade. Se a parte desprezada é constituída por um 5, ou por 5 seguido apenas de zeros, o Arred deve provocar alterações umas vezes para mais, outras para menos, com igual probabilidade e, para tal, deve conservar-se inalterado o algarismo da casa arredondada se o algarismo for par ou aumentá-lo de uma unidade se for ímpar (IPQ, 2009).

No tiro de AC é utilizada o geralmente designado de “Arredondamento Artilheiro”. Apesar de não ser explicitado diretamente no Regulamento de tiro a sua aplicação é explícita nos exercícios que a publicação contém. Esta forma de Arred é comum entre as gerações mais novas de Artilheiros e no fundo traduz a aplicabilidade da Norma Portuguesa 37.

1.7. Erros em cálculo numérico

O tiro de AC depende da utilização de determinados equipamentos, essencialmente óticos, para obtenção de elementos de localização de Obj e para apontar as bocas de fogo, e da execução de diversos cálculos para determinação dos ElemTir, aos quais estão associados muitos Arred, como ficou patente nos parágrafos anteriores.

“Associado a qualquer tipo de medição está sempre o erro cometido, partindo do princípio que na prática uma mediação nunca é exata. Dependendo da escala do aparelho de medida e da experiência do técnico de medição, podemos obter um erro mais ou menos grosseiro... O arredondamento é outro fator que gera erros.” (Serranho, 2017, p. 5).

Segundo Matos (2005) designa-se por valor aproximado, ou aproximação, qualquer valor que se utilize como representação de um valor exato. Associado a um dado valor

aproximado existe um erro de aproximação resultante da diferença entre o valor exato e o valor aproximado. A aproximação diz-se ser por defeito quando a diferença entre o valor exato e o valor aproximado é positiva ou por excesso quando esta diferença é negativa. O valor absoluto do erro de aproximação é designado por erro absoluto (ϵ_a).

É comum expressar valores reais através de um determinado valor aproximado e de um intervalo para o erro de aproximação e é, normalmente, utilizada a expressão erro máximo absoluto para designar um majorante do erro absoluto (Matos, 2005).

Quando se efetuam operações com números sujeitos a erro, esses erros propagam-se aos resultados das operações, que vão refletir a incerteza dos números que compõem a operação. Este processo é designado por propagação de erro. (Oliveira, s/d).

Os cálculos envolvendo múltiplas operações aritméticas devem ser efetuados com algum cuidado. A necessidade de guardar resultados intermédios, utilizando representações finitas, faz com que se cometam diversos erros de Arred nesses resultados intermédios, e que se podem ir acumulando nos sucessivos cálculos, influenciando significativamente o resultado final, o que faz com que o resultado obtido com aritmética finita esteja muito longe do verdadeiro valor. (Matos, 2005). Pela razão apontada “...é necessário efetuar os Arred no fim de todos os cálculos e não após cada cálculo.” (Pellegrino, Ribeiro & Filipe, 2014).

“Segundo a norma americana ASTM E 29 [5], qualquer algarismo num número é um algarismo significativo à exceção dos 0 à esquerda ou, em números sem separador decimal, de alguns 0 à direita. O algarismo 0 à esquerda de algarismos não nulos só serve para indicar a ordem de grandeza do número e não é significativo.” (Pellegrino et al. 2014, p. 108).

Segundo Costa (2003) ao efetuar operações algébricas o resultado deve ter o mesmo número de algarismos significativos que o termo com menos algarismos significativos. Contudo o autor defende que nos cálculos mais complicados os resultados só devem ser arredondados no final dos cálculos e que nos cálculos intermédios, deve ser sempre mantido pelo menos mais um algarismo significativo do que o previsto para o resultado final.

CAPÍTULO 2 - EFEITOS NO PEDIDO DE TIRO

Neste capítulo procura responder-se à QD1 “Que desvio métrico, relativo à localização do Obj, resulta da utilização de arredondamentos no Pedido de Tiro? Para tal fim, procura-se quantificar o desvio provocado pelo Arred relativamente à posição real do Obj originado pelos Arred efetuados nas três formas de localização de Obj, tendo como comparação o raio de ação¹⁷ das granadas utilizadas no EP.

3.1. Arredondamentos na localização por Coordenadas Retangulares

Como referido anteriormente, no Pedido de Tiro por Coordenadas Retangulares o OAv envia ao PCT as coordenadas do Obj arredondadas aos 100 m (seis algarismos), na execução de Tiro de Área, ou aos 10 m (8 algarismos) se executar Tiro de Precisão¹⁸.

Ao utilizar as coordenadas arredondadas aos 100 m o OAv poderá introduzir na localização do Obj um ϵ_a de até 50 m em cada coordenada, Nortes (N) e Estes (E). O erro introduzido nas coordenadas pelo Arred vai originar um desvio, a partir daqui também designado por afastamento, na localização do Obj, a implantar pelo PCT, relativamente à sua real localização. A título de exemplo, conforme ilustrado na Figura 3, se as coordenadas do Obj forem 48350 23550, o OAv enviará ao PCT as coordenadas 484 236, que se traduz um erro de +50 m em Estes e +50 m em Nortes, que resulta num afastamento de cerca de 71 m em relação à posição real do Obj.

Esta situação, representada na Figura 3, ilustra o pior cenário, já que o desvio obtido é maior, fruto da introdução do ϵ_a máximo de 50 m, em ambas as coordenadas. Obviamente este fenómeno não se verificará em todos os Arred efetuados pelo OAv. Ao executá-los, o OAv poderá introduzir em cada elemento das coordenadas um ϵ_a que varia entre 1 e 50 m. Para verificar qual o afastamento obtido da conjugação destes dois fatores, erros de E com erros de N, construiu-se uma tabela (extrato no Apêndice A) onde se cruzaram todas as combinações possíveis com os erros referidos anteriormente.

O diagrama de extremos e quartis exposto na Figura 4 mostra-nos uma representação de todos valores obtidos. Da sua análise podemos verificar que o Arred das coordenadas aos

¹⁷ Na terminologia militar o raio de ação de uma granada corresponde à dimensão da área circular onde se considera que os estilhaços produzidos pela detonação do projétil são mortais (105 mm - 30 m; 155 mm - 50 m). Em linguagem matemática o raio de ação da granada corresponderia ao diâmetro da área considerada.

¹⁸ Estas missões são normalmente iniciadas pelo PCT. Contudo pode ser solicitado ao OAv que indique as coordenadas do Ponto de Regulação. Pode ainda ser solicitado pelo OAv se pretender executar uma missão de destruição, que será precedida de uma missão de Regulação de Precisão e seguida da execução de tiro até obtenção da destruição do Obj.

100 m poderá originar um afastamento da posição do Obj entre 1 e 71 m, o afastamento médio é de 40 m e em 50% das combinações possíveis se introduzirá um afastamento entre 30 e 50 m, sendo que em 75% das combinações o desvio será igual ou superior a 30 m.

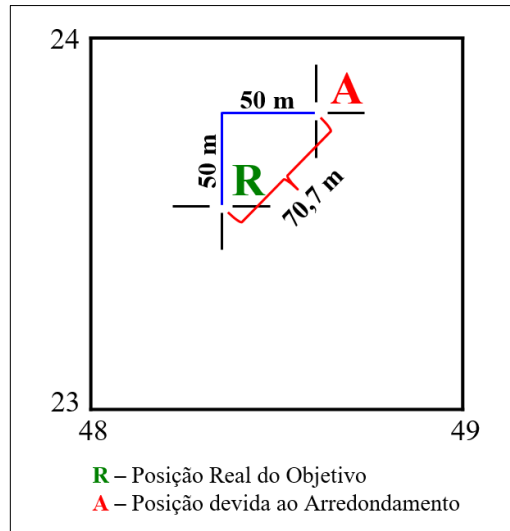


Figura 3 – Efeito do Arred das Coordenadas (imagem não à escala)

Quando as coordenadas são arredondadas aos 10 m, o erro introduzido na localização do Obj é significativamente menor, situando-se o ϵ_a no intervalo de 1 a 10 m para cada coordenada.

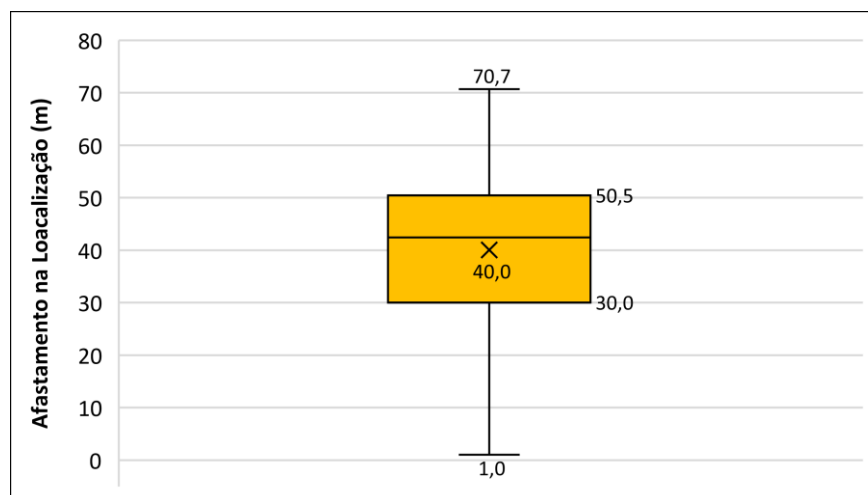


Figura 4 – Efeito do Arred das coordenadas aos 100 m

À semelhança do procedimento adotado para o Arred aos 100 m, construiu-se uma tabela cujo extrato consta do Apêndice B, onde se cruzaram todas as combinações possíveis

para erros absolutos de 1 a 10 m. O gráfico da Figura 5 representa todos valores obtidos. Ao analisá-lo, podemos verificar que o Arred das coordenadas aos 10 m poderá originar um afastamento da posição do Obj entre 1 e 14 m, que em média o desfasamento é de aproximadamente 8 m e que em 50% das combinações possíveis se introduzirá um desvio entre cerca de 6 a 10 m, sendo que em 75% das combinações o desvio será igual ou superior a aproximadamente 6 m.

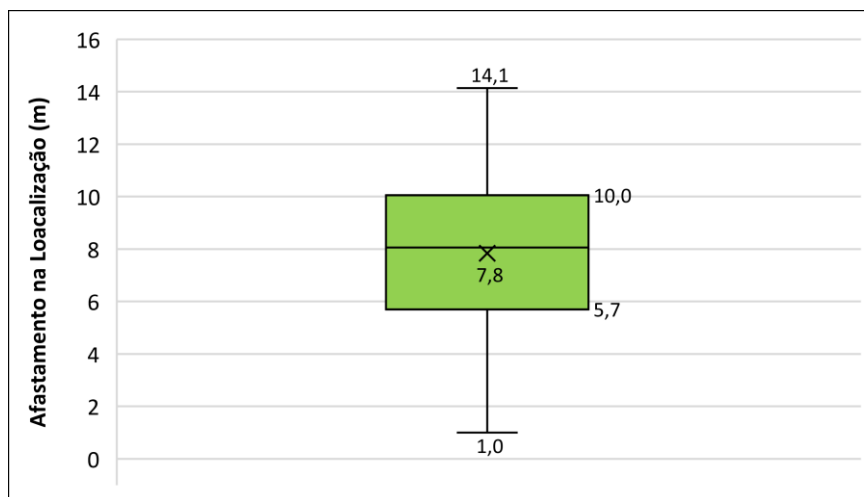


Figura 5 – Efeito do Arred das coordenadas aos 10 m

No entanto o Arred das coordenadas não é o único Arred utilizado na localização por Coordenadas Retangulares. Além da cota, que será considerada no Capítulo 3, verificam-se Arred no RLO. Neste processo de localização o RLO não é essencial à execução do tiro, tornando-se apenas necessário caso o OAv pretenda fazer correções ao tiro, uma vez que só com este elemento o PCT poderá considerar as correções recebidas na devida direção. Assim, o Arred do RLO poderá afetar mais uma vez a precisão do tiro, afastando as correções enviadas da posição real do Obj. Contudo essa situação não será tida em consideração neste caso particular, já que é abordado na localização de Obj por Coordenadas Polares.

3.2. Arredondamentos na localização por Coordenadas Polares

Neste método o Obj é localizado através do RLO arredondado aos 10 mils e a Dist entre o OAv e o Obj arredondada aos 100 m. Quando o OAv localiza um Obj por coordenadas Polares e arredonda o RLO aos 10 mils, está a afetar o valor desse Rumo com um ϵ_a que pode variar entre 1 e 5 mils, o que originará um erro na localização do Obj, como nos demonstra a Figura 6.

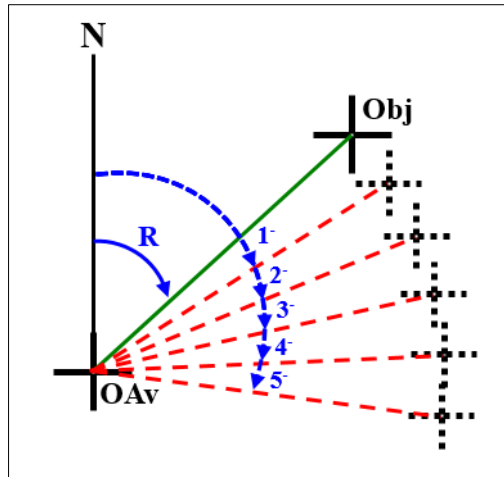


Figura 6 – Influência do Arred do RLO na localização do Obj (não à escala)

A tabela cujo extrato consta do Apêndice C foi construída considerando o OAv a diferentes distâncias do Obj e diferentes posições do Obj, de forma a considerar todos os valores do RLO possíveis, de 0 a 6400 milis. A tabela permite obter as variações de Estes (ΔE) e Nortes (ΔN) obtidas devido ao Arred do RLO. Em função das ΔE e ΔN pode constatar-se que, dependentemente do RLO, serão obtidas diferentes localizações em redor da real posição do Obj. Calculado o afastamento em relação à real posição do Obj (Dist obtida através das ΔE e ΔN), é possível verificar que o valor do afastamento se repete de 5 em 5 milis, o que significa que este depende do erro do Arred e não do RLO. Fazendo variar a Dist OAv-Obj obtêm-se os intervalos de afastamento constantes da Figura 7.

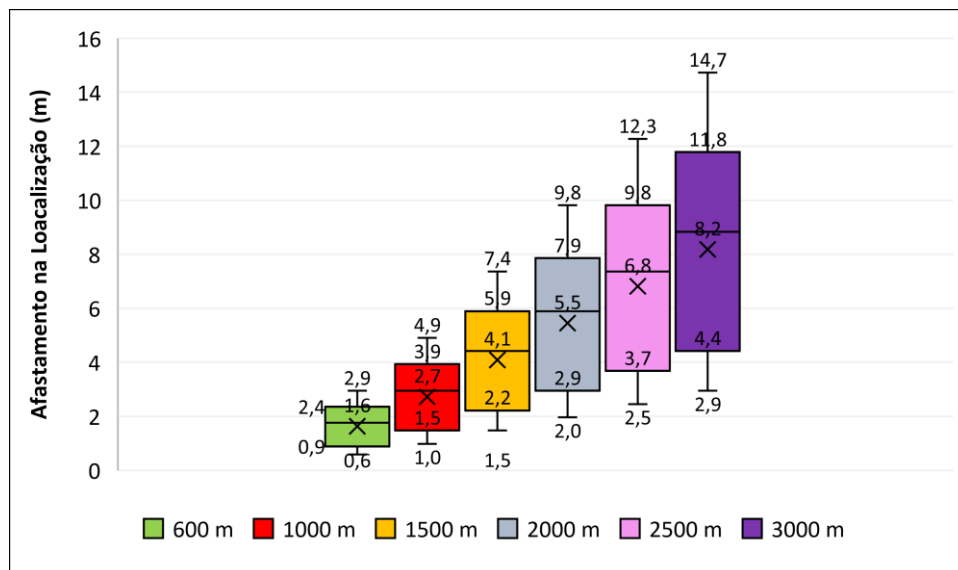


Figura 7 – Afastamento devido ao Arred do RLO em função da Dist OAv-Obj

Foram consideradas as distâncias mais comuns em que o OAv poderá observar o tiro, a partir dos 600 m¹⁹ e até uma Dist possível de observar com os instrumentos óticos utilizados no Exército Português, 3000 m. Da análise do gráfico pode constar-se que sempre que existe Arred do RLO obtém-se um afastamento em relação à posição real do Obj.

Também é possível constatar que o afastamento é maior com o aumento da Dist OAv-Obj, bem como o facto de que, sempre que o OAv procede ao Arred do RLO, estará a afastar a localização enviada ao PCT da localização real entre aproximadamente 1 a 15 m. Para cada Dist os afastamentos menores são obtidos quando o erro de Arred é de apenas 1 mils e máximos quando o erro é de 5 mils.

O outro elemento a enviar pelo OAv e com afetação na localização planimétrica do Obj é a Dist entre a sua posição e a do Obj, que, como referido anteriormente, é arredondada aos 100 m. Do Arred aos 100 m resulta um ϵ_a de 1 a 50 m que, como nos mostra a Figura 8, origina um afastamento da localização real do Obj num raio igual ao valor do ϵ_a , independentemente da localização do OAv.

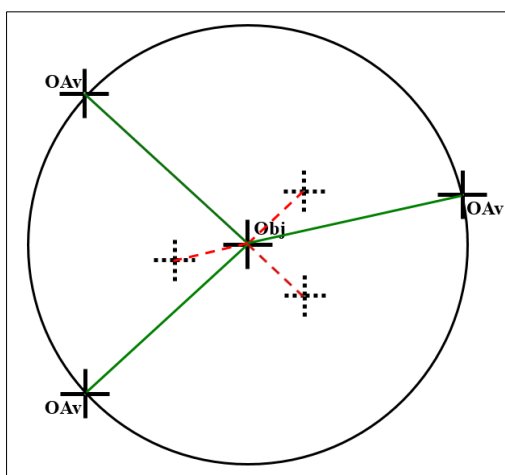


Figura 8 – Afastamento devido ao Arred da Dist OAv-Obj

Analisando agora as implicações dos dois Arred em simultâneo, podemos constatar, através da análise da Figura 9 (construída considerando o Arred do RLO e o Arred da Dist OAv-Obj com ϵ_a de 50 m) que o Arred da Dist OAv-Obj, praticamente, absorve o afastamento resultante do Arred do RLO.

¹⁹ Também poderá observar a distâncias inferiores, mas serão utilizados outros procedimentos técnicos uma vez que o tiro a essas distâncias é considerado tiro próximo.

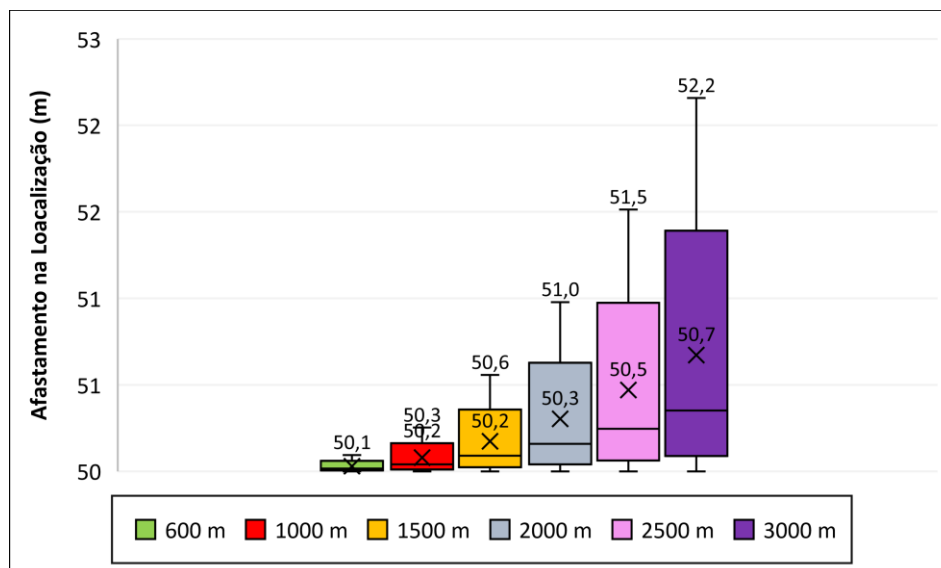


Figura 9 – Afastamento devido ao Arred do RLO e da Dist OAv-Obj (50 m)

Uma vez que, para a situação apresentada, o ϵ_a resultante do Arred da Dist OAv-Obj é de 50 m, é possível verificar que o afastamento devido ao Arred do RLO varia aproximadamente entre 0 e 2 m, quando isoladamente representava um afastamento de aproximadamente 1 a 15 m. Podemos ainda verificar que, tal como acontecia para o Arred do RLO, o aumento da Dist OAv-Obj também se traduz num aumento do afastamento, embora de forma menos significativa.

O gráfico da Figura 10, obtido a partir de uma tabela cujo extrato consta no Apêndice D (os valores foram obtidos através de uma variante da tabela constante Apêndice C, mas considerando a Dist arredondada), espelha o afastamento obtido na localização do Obj devido à relação entre o Arred do RLO (erros absolutos de 1 a 5 mils) e o Arred da Dist OAv-Obj (erros absolutos de 1 a 50 m) para diferentes distâncias OAv-Obj. Da sua análise podemos observar que o afastamento verificado resulta essencialmente do Arred da Dist. Apenas para a conjugação das maiores distâncias OAv-Obj, com os maiores erros absolutos no Arred da Dist, obtém-se um afastamento até mais 2 m relativamente ao ϵ_a da Dist.

Da análise da Figura 10 podemos verificar que o Arred simultâneo do Rumo e da Dist poderá originar um afastamento da posição do Obj que pode variar aproximadamente de 1 a 52 m, que em média o deslocamento é de aproximadamente 25 m e que, em 50% das combinações possíveis, se introduzirá um afastamento entre aproximadamente 10 e 40 m, sendo que em 75% das combinações o desvio será igual ou superior a 10 m.

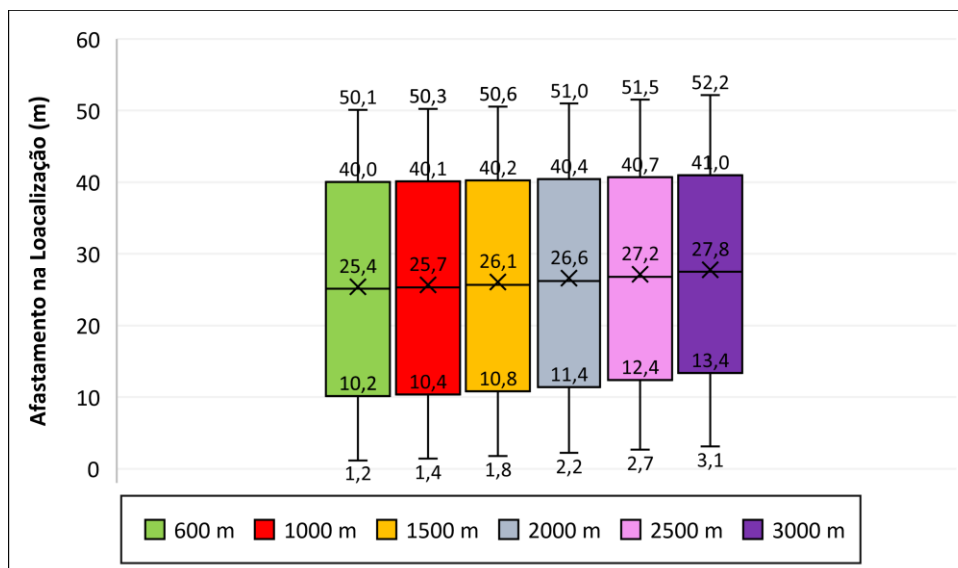


Figura 10 – Afastamento devido ao Arred do RLO e da Dist OAv-Obj

3.3. Arredondamentos na localização por desvios métricos em relação a um PR

Na localização de Obj a partir de um PR, o OAv envia ao PCT o RLO, arredondado à dezena de mils, o desvio lateral arredondado aos 10 m e o desvio em Dist arredondado aos 100 m (EME, 2012).

Como demonstrado na localização por Coordenadas Polares, o Arred do RLO origina um ϵ_a que pode variar entre 1 e 5 mils. Neste método de localização o afastamento provocado pelos Arred poderá resultar de diversas combinações, desde o Arred num dos elementos da localização até à conjugação de dois ou mais elementos. A tabela cujo extrato consta do Apêndice E foi construída considerando todos os valores do RLO possíveis, de 0 a 6400 mils, permitindo a combinação com diferentes valores de desvios laterais e/ou em Dist arredondados e não arredondados. Das diferenças entre a ΔE e ΔN , obtidas para a localização com ou sem Arred é possível determinar o afastamento provocado pela utilização de Arred.

A Figura 11 mostra-nos os intervalos de erros obtidos quando o Arred do RLO é combinado com valores de desvio lateral ou de desvio em Dist não arredondados. Os resultados foram obtidos para diferentes valores de desvios, entre 100 e 1000 m.

Da análise da Figura 11 podemos verificar que o Arred do RLO, combinado com diferentes valores de desvios, quer laterais quer em Dist, provoca um afastamento na localização do Obj de aproximadamente 0 a 5 m. O seu valor é reduzido para valores de desvio menores, mas aumenta para desvios de maior valor, podendo chegar a cerca de 5 m quando os desvios utilizados para localizar o Obj têm valores na ordem do milhar de metro.

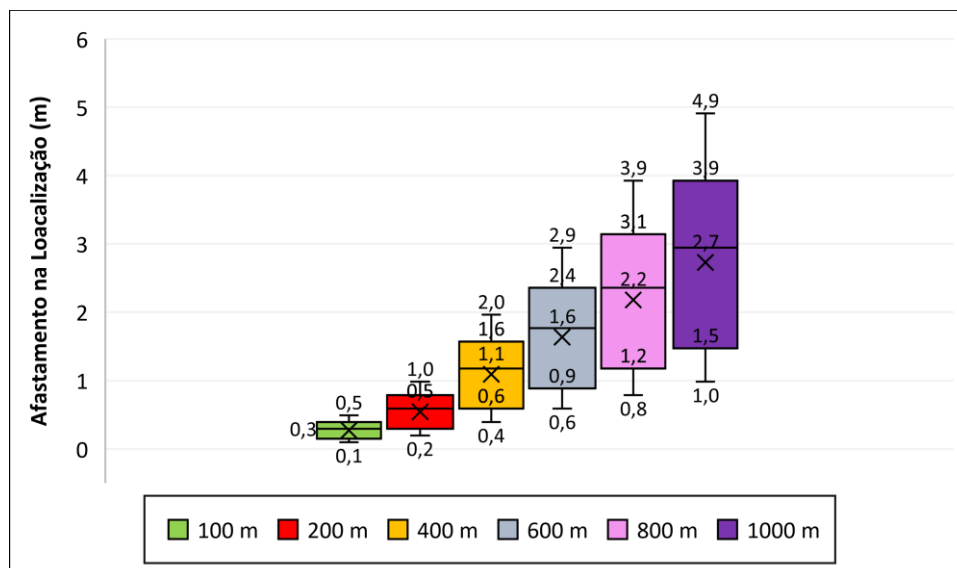


Figura 11 – Afastamento devido ao Arred do RLO e um desvio (não arredondado)

Todavia, o OAv poderá não conseguir localizar o Obj utilizando apenas os desvios laterais ou em Dist relativamente ao PR. O mais provável é ter de conjugar os dois desvios. A Figura 12 mostra os intervalos de erros obtidos quando o Arred do RLO é combinado simultaneamente com valores de desvio lateral e de desvio em Dist não arredondados.

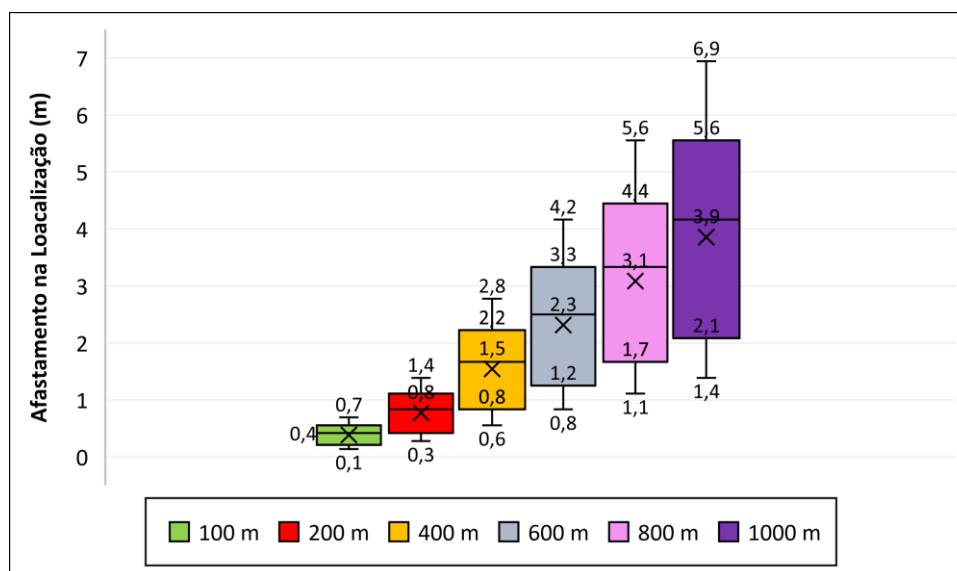


Figura 12 – Afastamento devido ao Arred do RLO e dois desvios métricos

Da análise desta figura podemos verificar que quando o RLO se combina simultaneamente com desvios laterais e em Dist, os erros obtidos são superiores do que na situação exposta anteriormente, cifrando-se aproximadamente entre 0 e 7 m. Tal como

acontece na combinação com um só desvio, na combinação com dois desvios os erros são maiores quanto maior for o valor do desvio utilizado.

Quando são associados os Arred do RLO e do desvio lateral, combinamos o ϵ_a do rumo, entre 1 e 5 mils, e o do desvio lateral, entre 1 e 5 m. A Figura 13 mostra os intervalos de erros obtidos quando se combinam os Arred do RLO e do desvio lateral, erro máximo, para diferentes desvios em Dist não arredondados.

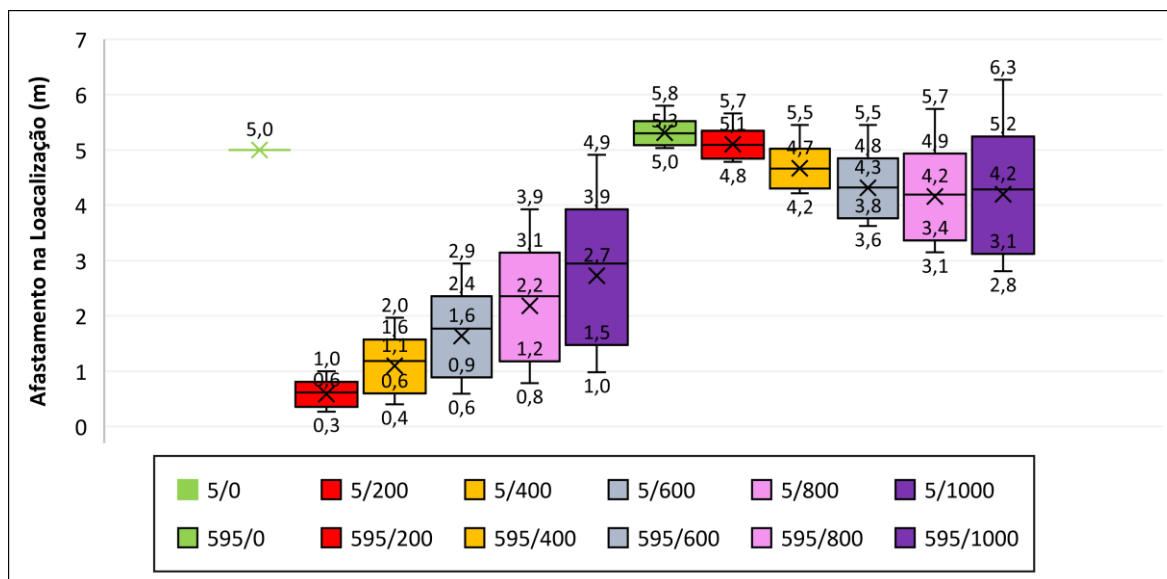


Figura 13 – Afastamento devido aos Arred do RLO e do desvio lateral

Da análise da Figura 13 podemos verificar que o afastamento provocado na localização do Obj, resultante das combinações referidas, varia entre aproximadamente 0 e 6 m. Constatamos ainda que, para valores baixos de desvio lateral, a tendência é os afastamentos aumentarem com o incremento do desvio em Dist e que, para desvios laterais maiores, a tendência é para diminuir inicialmente e depois aumentarem. Podemos ainda constatar que, apesar do ϵ_a ser o mesmo para as duas situações representadas, para maiores desvios laterais, em média o afastamento em relação à localização real aumenta e a sua amplitude diminui, apesar do seu valor máximo não ultrapassar significativamente os 5 m.

A Figura 14 mostra os intervalos de erros obtidos quando se combinam os Arred do RLO e do desvio em Dist com diferentes valores de desvio lateral não arredondados. Podemos neste caso observar que o afastamento provocado na localização do Obj varia aproximadamente entre 5 e 50 m. Sendo de realçar que a amplitude dos erros obtidos é praticamente nula, o que traduz a pequena influência do Arred do RLO comparativamente à

influência do Arred do desvio em Dist. Constatase ainda que, para um determinado valor arredondado de desvio em Dist, o afastamento provocado é tanto menor quanto maior for o valor do desvio lateral, mas que em circunstância alguma ultrapassa o erro de 50 m.

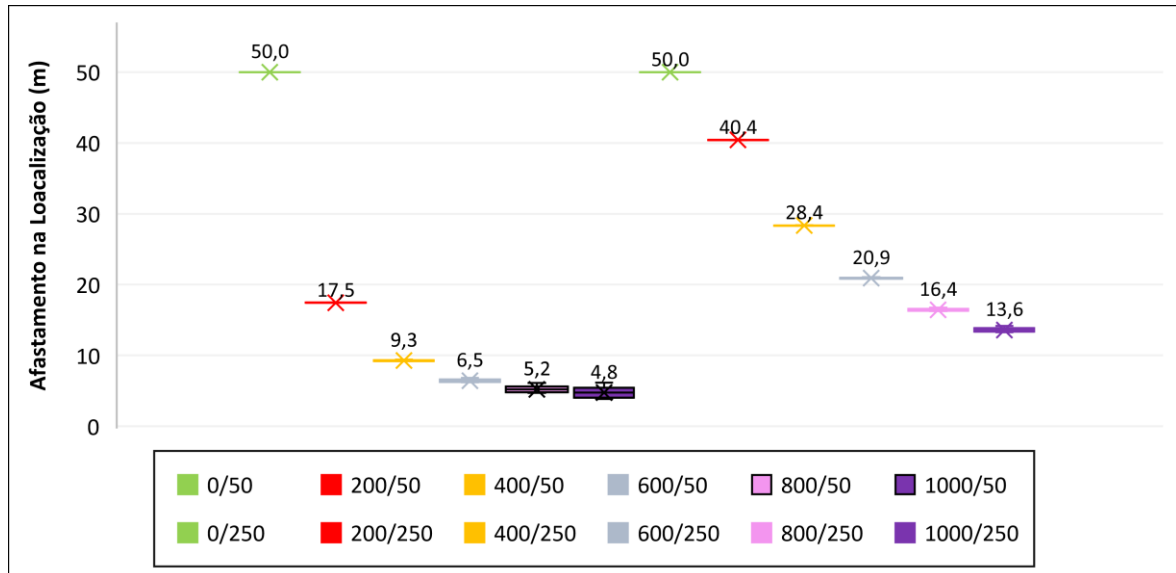


Figura 14 – Afastamento devido aos Arred do RLO e do desvio em Dist

A Figura 15 representa os intervalos de erros obtidos quando se combinam, simultaneamente, os Arred do RLO, do desvio em direção e do desvio em Dist, para diferentes valores de desvios.

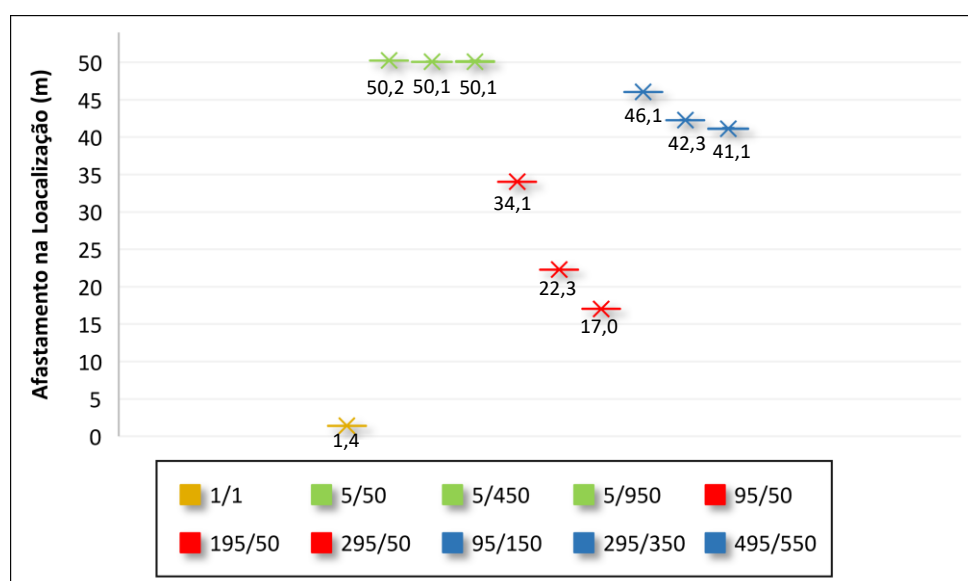


Figura 15 – Afastamento devido aos Arred do RLO e dos dois desvios

Podemos constatar que o afastamento provocado na localização do Obj varia entre 1 e 50 m, aproximadamente. Verifica-se ainda que os maiores afastamentos se obtêm quando se combinam pequenos desvios laterais e grandes desvios em Dist, pelo que se deduz que o Arred da Dist aos 100 m tem mais influência nos afastamentos produzidos do que o Arred dos desvios laterais. É de realçar que o efeito do Arred do RLO é completamente absorvido pelo efeito do Arred dos desvios resultado da amplitude praticamente nula dos afastamentos obtidos em cada situação.

3.4. Síntese Comparativa

A Tabela 3 permite-nos comparar os intervalos de afastamentos obtidos pela utilização de Arred nos diferentes métodos de localização de Obj. Podemos constatar que o método de localização por Coordenadas Retangulares é, simultaneamente, o método mais e menos afetado pelos Arred.

Tabela 3 – Afastamentos obtidos nos diferentes métodos de localização

Método	Elemento		Intervalo de Desvio
Coordenadas Retangulares	100 m	Estes	[1-50]
		Nortes	[1-50]
		E/N	[1-71]
		Acumulado	[1-71]
	10 m	Estes	[1-10]
		Nortes	[1-10]
		E/N	[1-14]
		Acumulado	[1-14]
Coordenadas Polares	RLO		[1-15]
	Distância		[1-50]
	Rumo e distância		[1-52]
	Acumulado		[1-52]
Desvios Métricos	RLO vs 1 desvio		[0-5]
	RLO vs 2 desvios		[0-7]
	RLO e desvio lateral		[0-6]
	RLO e desvio distância		[0-50]
	RLO e 2 desvios		[1-50]
	Acumulado		[0-50]

Quando as coordenadas são arredondadas aos 100 m pode obter-se um desvio de até 71 m enquanto que utilizando Arred aos 10 m esse desvio será no máximo de 14 m. Uma vez que este tipo de Arred apenas é utilizado no Tiro de Precisão, é possível deduzir que, em

relação ao Tiro de Área, o método de localização por Coordenadas Retangulares é o mais afetado pelos Arred, seguindo-se o método de localização por Coordenadas Polares e o método de localização por desvios métricos, por último.

Comparando com o raio de ação das granadas utilizadas no Exército Português, 30 m para o calibre 105 mm e 50 m para o calibre 155 mm (EME, 2012), podemos afirmar que o efeito dos Arred utilizados no Pedido de Tiro poderá anular os efeitos da granada, como nos mostra a Figura 16. O afastamento provocado na localização do Obj poderá ser maior do que o raio de ação da granada utilizada, bastando para isso que este afastamento seja superior a 15 m e a 25 m para os materiais 105 mm e 155 mm, respetivamente.

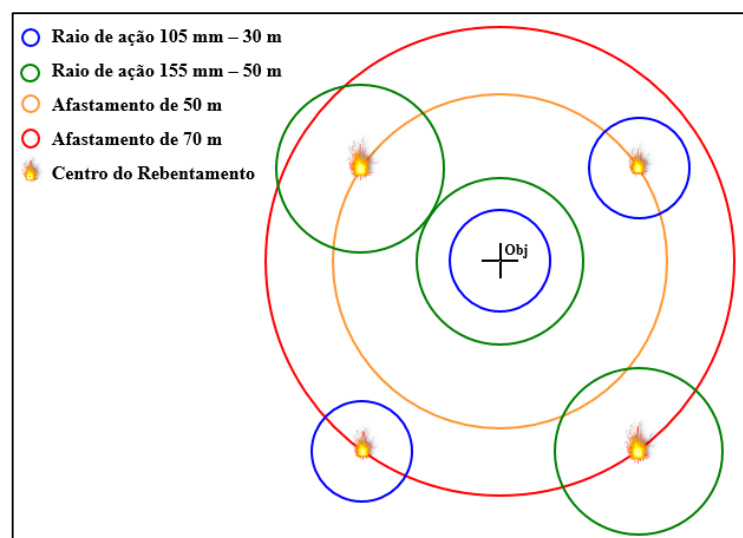


Figura 16 – Comparação entre afastamento e raio de ação da granada

CAPÍTULO 3 - EFEITOS NOS ELEMENTOS DE TIRO

Este capítulo procura responder à QD2 “Que desvio métrico, relativo à localização do Obj, resulta da utilização de arredondamentos no cálculo dos Elementos de Tiro?”. Procurará quantificar-se o afastamento entre o impacto produzido pela utilização de ElemTir arredondados e o impacto obtido através de elementos não arredondados, por comparação com o raio de ação eficaz de uma granada explosiva de Artilharia.

4.1. Carga

A carga é a componente da munição responsável por produzir o movimento do projétil. A sua escolha é feita com o objetivo de ser utilizada no maior número de MT possível. É, na maioria das situações, selecionada pelo ChPCT tendo em consideração aspetos de natureza tática, como por exemplo a localização dos Obj a bater e as capacidades dos meios de deteção do Inimigo, e de natureza técnica, como a existência de cristas que interfiram com as trajetórias de tiro ou a dispersão provocada pela carga. Na execução de TV, e porque a gama de alcances permitida para este tipo de trajetória é muito menor, a carga é definida para cada missão sendo essa escolha do Calculador.

A carga escolhida vai determinar a Tábua de Tiro Gráfica (TTG) ou a secção da TTN a utilizar na determinação dos ElemTir, mas no seu processo de escolha não é utilizado qualquer Arred, pelo que este elemento não será alvo de mais detalhe.

4.2. Graduação de Espoleta

A GEp é determinada apenas quando é utilizada a espoletas de Tempos (T) ou de Aproximação, comumente designadas por VT, e é responsável por acionar o funcionamento da espoleta no ponto da trajetória pretendido. A GEp é determinada na Tábuas de tiro em função do valor da CCAS. Contudo, quando a CCAS não é significativa, para ΔZ inferiores ou iguais a 100 m, a GEp é considerada apenas em função da Alça (EME, 2012).

Para as espoletas de T, a GEp é determinada por interpolação, quando determinada na TTN, e se necessário, com aproximação à décima de Unidade de Graduação de Espoleta (u.g.e.) ou de segundo (s). Para as Espoletas VT é utilizada apenas a parte inteira do valor correspondente à duração do trajeto. O Arred à décima de u.g.e. ou de s poderá originar um erro máximo de Arred de 0,05 unidades. Uma vez que a variação de GEp para 100 m varia consoante a carga e a Dist, é possível determinar o erro em m devido ao erro de Arred de

0,05 u.g.e. ou s. A Tabela 4 pretende mostrar o afastamento obtido para diferentes variações de GEp correspondentes a diferentes intervalos de 100 m de Dist patentes na TTN. Da sua análise podemos verificar que o afastamento devido ao Arred da GEp poderá chegar aos 25 m. Assim, podemos inferir que o Arred da GEp poderá afetar a localização do ponto de rebentamento com ϵ_a de $[0, 25]$ m.

Tabela 4 – Afastamentos obtidos para diferentes intervalos de GEp

$\Delta GEp / 100 \text{ m Dist (u.g.e. ou s)}$	Erro Distância (m)
0,2	25,0
0,3	16,7
0,4	12,5
0,5	10,0
0,6	8,3

Relativamente ao Arred da GEp para espoleta VT, podemos afirmar que esta não tem qualquer influência na precisão do seu local de rebentamento. Pelo facto de a GEp apenas servir para a ativação do funcionamento da espoleta, esta não terá qualquer impacto na localização do rebentamento porque este irá ocorrer à altura de rebentamento padronizada para a espoleta em apreço.

4.3. Direção

Como referido no Capítulo 1, a Direção é normalmente calculada somando a Direção Topográfica e a Cor Tot Dc, quando o PCT dispõe de Mensagem de Aferição, ou apenas a Correção de Derivação caso não exista. A Dc é determinada com aproximação à unidade e é calculada a partir de valores também arredondados à unidade.

A Cor Tot Dc pode adotar duas formas diferentes consoante a urgência da missão de tiro a executar, ou seja, em missões de carácter mais urgente é somada à Direção a Cor Tot Dc da Mensagem de Aferição, e em missões onde se privilegia a precisão, a Cor Tot Dc para a missão é calculada somando-lhe a Cor Drv, correspondente à Dist ao Obj, à Cor Dc TTG. Poderá ainda ser utilizada apenas a Dc Top nas missões em que se utilizam Procedimentos de Emergência. Em suma, abrangendo todas as técnicas de tiro, a Direção poderá ser calculada das quatro formas seguintes:

$$Dc = Dc \text{ Top} \quad (6)$$

$$Dc = Dc \text{ Top} + Cor \text{ Drv} \quad (7)$$

$$Dc = Dc \text{ Top} + Cor \text{ Tot } Dc \text{ (Aferição)} \quad (8)$$

$$Dc = Dc \text{ Top} + Cor \text{ Dc TTG} + Cor \text{ Drv} \quad (9)$$

Na primeira situação (6) não existe qualquer influência dos Arred se a Dc for determinada de modo manual, uma vez que apenas é utilizada a Dc Top fornecida pelo OpPlan. Podem ocorrer erros de precisão devido a imprecisões da Prancheta ou da parte do OpPlan, mas esses seriam iguais para cada técnica e não resultam exatamente de um Arred. Caso a determinação da Dc Top se faça de forma analítica, situação pouco comum quando existe Prancheta Topográfica, poderemos obter um ϵ_a dentro do intervalo]0 , 0,5] mils.

Quando utilizada a fórmula (7), a Cor Drv é obtida na TTN por interpolação de valores apresentados à décima e arredondados à unidade, ou retirados da TTG que apresenta valores à unidade uma vez que os Arred já foram utilizados na sua construção. Nesta situação poderemos estar na presença de um ϵ_a de]0 , 0,5] mils para o cálculo manual ou de [0 , 1] mils se a Dc for determinada analiticamente, uma vez que se junta o erro de Arred utilizado no cálculo da Dc ao do cálculo da Cor Drv.

Na fórmula (8) verificamos a existência de um ϵ_a de]0 , 1,5] mils. A Cor Tot Dc é obtida através da Preparação Experimental (Prep Exp) ou da Preparação Teórica (Prep Teo) a partir de valores inteiros. Contudo, esses valores inteiros foram determinados por Arred o que faz com que o ϵ_a verificado na sua determinação transite para os elementos obtidos a partir destes. Na Prep Exp a Cor Tot Dc é determinada subtraindo a Dc Top à Direção de Regulação (Dc Reg). Uma vez que a Dc Reg é determinada pela fórmula (7) esta é afetada pelo mesmo ϵ_a ,]0 , 0,5] mils. Como resultado, a Dc determinada pela fórmula (8) com Cor Tot Dc obtida da Preparação Experimental poderá ser afetada de um erro de]0 , 0,5] mils quando a Dc for determinada a partir da Dc Top da Prancheta ou de]0 , 1] mils se a Dc Top for determinada analiticamente.

No cálculo a partir de Prep Teo, a Cor Tot Dc é obtida a partir da soma de dois valores inteiros, a Correção Teórica de Direção (Cor Teo Dc) e a Correção Residual de Direção (Cor Res Dc), valores arredondados com um ϵ_a de]0 , 0,5] mils. A Cor Teo Dc é determinada com Arred à unidade a partir de valores decimais, obtidos na TTN, correspondentes às três componentes que afetam a Dc (Rotação da Terra, Derivação e Vento Transversal). Uma vez

que estes valores são retirados diretamente da TTN sem que se utilize qualquer Arred direto²⁰, a Cor Teo Dc poderá ser afetada com um ϵ_a de $]0, 0,5]$ mils devido ao Arred da soma das três correções referidas. Por sua vez, a Correção Residual é obtida subtraindo a Cor Teo Dc à Cor Tot Dc. Como já foi demonstrado anteriormente, ambos os valores poderão ser afetados de um ϵ_a de $]0, 0,5]$ mils, o que faz com que a sua subtração origine um erro de $]0, 0,5]$ mils na Correção Residual. Assim, a Cor Tot Dc determinada a partir da Preparação Teórica poderá ser afetada por ϵ_a de $[0, 1]$ mils e consequentemente a Dc determinada na Prancheta é afetada do mesmo erro. Caso a Dc Top seja determinada analiticamente e em consequência da introdução do erro devido ao seu Arred à unidade, o ϵ_a passará a ser de $[0, 1,5]$ mils.

Quando se utiliza a fórmula (9) verificamos que apesar desta fórmula ser a que garante mais precisão ao tiro de AC, uma vez que contempla os elementos corretivos das condições de momento através da utilização da Cor Dc TTG e da determinação da Cor Drv para a Dist real do Obj, é uma das que sofre maior influência dos Arred. Nesta situação, o ϵ_a na Direção é de $[0, 1,5]$ mils, resultante da soma dos erros absolutos dos dois elementos, Cor Dc TTG e Cor Drv. A Cor Drv é determinada da forma anteriormente apresentada e poderá ser afetada de um ϵ_a de $]0, 0,5]$ mils. A Cor Dc TTG é determinada subtraindo à Cor Tot Dc a Cor Drv correspondente à Alça de Regulação. Como ambos os valores poderão ser afetados de um ϵ_a de $]0, 0,5]$ mils, a sua subtração origina um ϵ_a de $]0, 0,5]$ mils na Cor Dc TTG. Assim, a soma destes dois erros afetará a Dc calculada com Dc Top manual com um ϵ_a de $]0, 1]$ mils e, para a Dc Top analítica com um ϵ_a de $]0, 1,5]$ mils.

Em suma, considerando as 4 formas de obtenção da Dc, os Arred utilizados na determinação deste Elemento de tiro poderão afetá-lo no máximo 1,5 mils, como nos mostra a Tabela 5.

Uma vez identificados os erros introduzidos pelos Arred na determinação da Direção, importa compreender em que medida estas variações afetam a precisão do tiro. Para tal construiu-se a tabela constante no Apêndice F onde, recorrendo à regra do milésimo, se determinou o desvio em Direção, em m, em função de diferentes distâncias (considerando o alcance tático mínimo a que a AC opera e o alcance máximo para os materiais em utilização no Exército Português) provocado pelos três erros absolutos máximos identificados na Tabela 5. Estes desvios foram comparados com o desvio Provável em Direção (ϵ_y) para as cargas máximas disponíveis no Exército Português.

²⁰ A sua determinação é em função de uma Distância Topográfica arredondada à priori.

Tabela 5 – Comparação dos erros obtidos na determinação da Direção

Fórmula	ϵ_a de arredondamento (mils)	
	Manual	Analítico
Dc = Dc Top	0	]0 , 0,5]
Dc = Dc Top + Cor Drv	]0 , 0,5]	[0 , 1]
Dc = Dc Top + Cor Tot Dc (Aferição)	]0 , 0,5]	[0 , 1]
	[0 , 1]	[0 , 1,5]
Dc = Dc Top + Cor Dc TTG + Cor Drv	[0 , 1]	[0 , 1,5]

Da análise do gráfico da Figura 17, construído a partir da Tabela 23, podemos verificar que os erros de Arred resultantes do cálculo da Dc podem afastar, o tiro do Obj entre aproximadamente 1 e 21 m. Para o erro de Arred de 1,5 mils obtemos um afastamento entre 4 e 21 m, para o erro de 1,0 mils entre 3 e 14 m e para o erro de 0,5 mils entre 1 e 7 m. Consta-se ainda que o afastamento é tanto maior quanto maior for a Dist entre a Btr e o Obj.

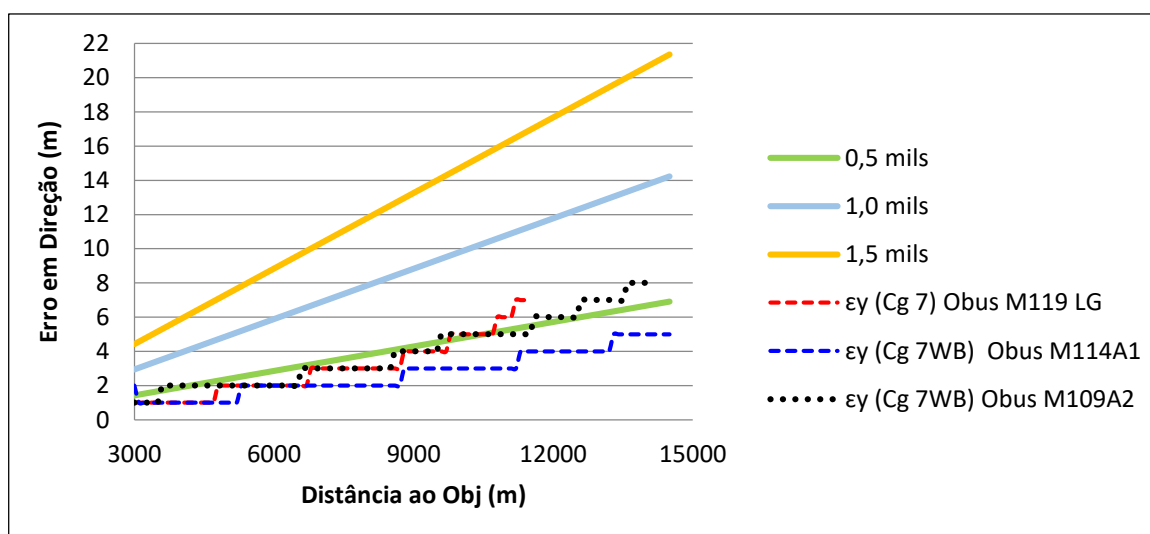


Figura 17 – Comparação entre afastamento e raio de ação da granada

Da análise da Figura 17 podemos constatar que, mesmo para o ϵ_a de menor valor, 0,5 mils, na maioria das situações os erros em Direção provocado são superiores ao ϵ_y tabelado para os materiais em utilização no Exército Português. Se considerarmos os restantes erros absolutos obtidos verificamos que para o erro de 1,0 mils, o desvio é de cerca duas vezes o ϵ_y e para o erro de 1,5 mils o desvio é de cerca três vezes o ϵ_y .

4.4. Elevação

Como já referido, a Elevação é obtida somando a Alça ao Si e por sua vez o Si é calculado somando o AngSi e a CCAS. A CCAS é determinada multiplicando o AngSi pelo FCCS. O AngSi é determinado através do produto da divisão da ΔZ entre a Btr e o Obj pela Dist (em km) pelo coeficiente 1,0186.

4.4.1. Ângulo de Sítio

O AngSi é calculado com Arred à décima do milésimo, o que significa que numa situação normal seria afetado por um ϵ_a de Arred máximo de 0,05 mils. Contudo, este ângulo é determinado a partir de dois valores que são arredondados, a ΔZ e a Dist Btr-Obj, sendo a ΔZ arredondada à unidade e obtida a partir da diferença entre a Cota do Obj e a Cota da Btr. A Cota da Btr é fornecida pela Secção de Topografia ou retirada da carta topográfica e é utilizada com Arred à unidade. A Cota do Obj poderá ser retirada da carta topográfica pelo OpSi, com base nas Coordenadas Retangulares indicadas no Pedido de Tiro, mas é, normalmente, indicada pelo OAv, que, como abordado anteriormente, arredonda a localização altimétrica aos 5 m, o que introduz um erro de Arred absoluto de [0, 2] m neste elemento.

Com base na Tabela 24 cujo extrato consta do Apêndice G (simula o Arred da Cota de 57 para 55 m – traduz ϵ_a da Cota), foi construído o gráfico da Figura 18. Como podemos verificar pelo gráfico, o erro máximo de 2 m vai inferir no AngSi um ϵ_a de [0,3 , 0,7] mils.

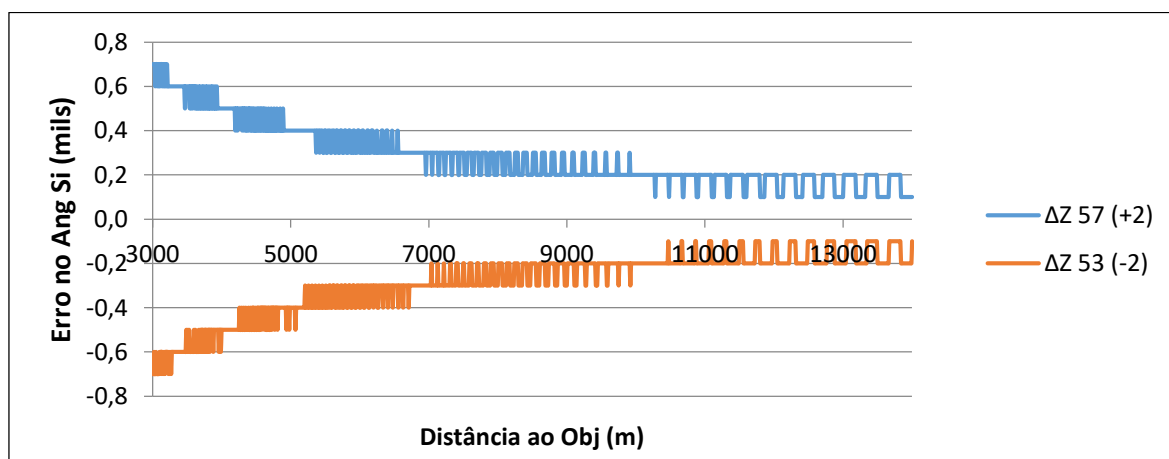


Figura 18 – Influência do Arred da Cota no AngSi

O erro será positivo nas situações em que o Arred somar 2 m à Cota utilizada e negativo na situação contrária, mas variará sempre entre [0,1 , 0,7] ou [-0,7 , -0,1] independentemente

do valor da ΔZ , o que resulta no ϵ_a de $[0,1, 0,7]$ mils e ultrapassa largamente o erro de 0,05 mils que deveria afetar o AngSi pelo seu Arred à decima do mils. Da análise da Figura 18 também podemos constatar que o ϵ_a é máximo para as distâncias menores e vai diminuindo à medida que a Dist aumenta e aproximando-se de zero.

Por sua vez, o AngSi também sofrerá alterações fruto do Arred da Dist aos 100 m, que poderá afetar a Dist utilizada no cálculo do AngSi com um ϵ_a de até 50 m. Para verificar esta influência construiu-se a Tabela 25 do Apêndice G onde se procurou verificar a variação do AngSi determinado com a Dist arredonda face à Dist não arredondada e em função de diferentes valores de ΔZ . A Figura 19 mostra-nos a influência do Arred da Dist no valor do AngSi para uma ΔZ de 157 m. Podemos verificar que, tal como para o Arred da Cota, esta influência diminui com o aumento da Dist. Contudo, os intervalos de erros variam com a ΔZ .

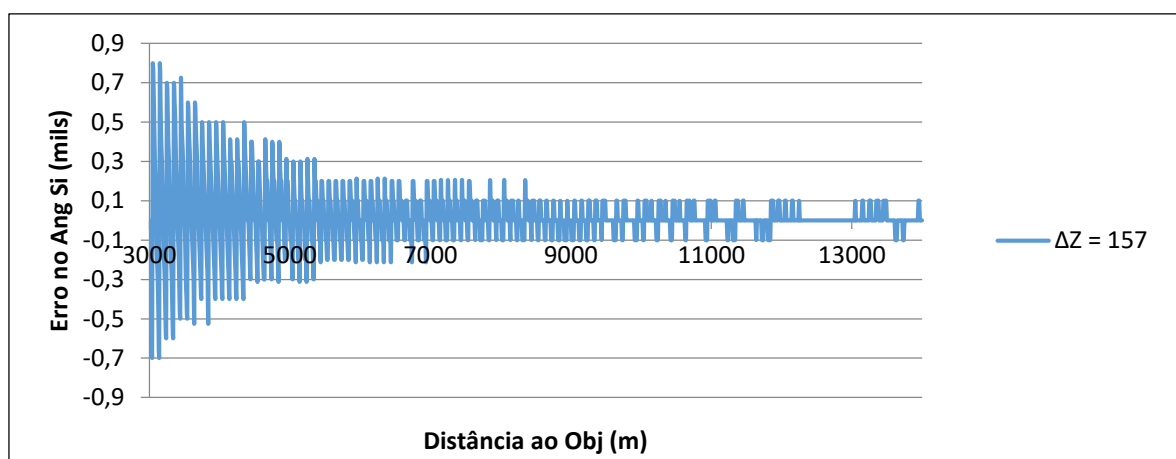


Figura 19 – Influência do Arred da Dist no AngSi

Para o exemplo retratado na Figura 19 o intervalo de erro obtido é $[-0,8, 0,7]$ mas, considerando ΔZ maiores, estes valores aumentam como podemos comprovar através da Tabela 6. Podemos ainda comprovar que, caso a ΔZ tenha valor negativo, os intervalos invertem-se significando que o arredondado da distancia poderá produzir no AngSi um erro de Arred absoluto que varia entre $[0,3, 2,2]$ mils.

Finalmente, poderemos ter a conjugação dos erros de Arred da Cota e da Dist. Para o efeito, foi construída a Tabela 26 do Apêndice G onde se conjugou o erro máximo do Arred da Cota (± 2 m) com o Arred da Dist.

Tabela 6 – Influência do Arred da Dist no AngSi

ΔZ (m)	Variação (mils)		ΔZ (m)	Variação (mils)	
	Min	Max		Min	Max
57	-0,3	0,3	-57	-0,3	0,3
107	-0,5	0,5	-107	-0,5	0,5
157	-0,8	0,7	-157	-0,7	0,8
207	-1,1	0,9	-207	-0,9	1,1
257	-1,4	1,2	-257	-1,2	1,4
307	-1,6	1,3	-307	-1,3	1,6
357	-1,9	1,6	-357	-1,6	1,9
407	-2,2	1,8	-407	-1,8	2,2

Da Tabela 7, que resume os intervalos de erro obtidos para as diferentes combinações possíveis, podemos verificar que, com a conjugação do Arred da Cota e da Dist, há um aumento do intervalo de erro obtido para o AngSi. Podemos constatar que, como para a Dist, os intervalos de erro obtido aumentam com o aumento da ΔZ e que nesta situação o AngSi poderá ser afetado de um erro de Arred absoluto que varia entre [0,1 , 2,8] mils.

Tabela 7 – Influência do Arred da Cota e da Dist no AngSi

Arredondamento da Cota (-2 m)						Arredondamento da Cota (+2 m)					
ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)	
	Min	Max		Min	Max		Min	Max		Min	Max
57	-0,9	-0,1	-57	0,1	0,9	53	0,1	0,9	-53	-0,9	-0,1
107	-1,2	-0,1	-107	0,1	1,2	103	0,1	1,2	-103	-1,2	-0,1
157	-1,5	0,0	-157	0,0	1,5	153	-0,2	1,3	-153	-1,3	0,2
207	-1,7	0,3	-207	-0,3	1,7	203	-0,4	1,6	-203	-1,6	0,4
257	-2,0	0,5	-257	-0,5	2,0	253	-0,7	1,8	-253	-1,8	0,7
307	-2,3	0,7	-307	-0,7	2,3	303	-1,0	2,1	-303	-2,1	1,0
357	-2,6	0,9	-357	-0,9	2,6	353	-1,3	2,2	-353	-2,2	1,3
407	-2,8	1,1	-407	-1,1	2,8	403	-1,5	2,5	-403	-2,5	1,5

4.4.2. Correção Complementar do Ângulo de Sítio

A CCAS é determinada multiplicando o AngSi pelo FCCS. O FCCS vem indicado na TTN, aumenta com a Dist e é diferente, para uma mesma Dist, consoante a carga considerada. Deve ser determinado por interpolação para a Dist Top, arredondada aos 100 m mais próximos. Também é bastante destinta a sua grandeza quando se trata do TM ou do TV. No TM tem o mesmo sinal do AngSi e o seu valor é normalmente inferior à unidade,

enquanto que no TV o FCCS tem sinal inverso ao do AngSi e adota valores superiores à unidade.

Uma vez que a CCAS depende do AngSi, os Arred que afetam o AngSi afetarão também a CCAS. Para verificar a influência dos Arred utilizados no cálculo da CCAS construiu-se a tabela cujo extrato consta no Apêndice H. Nesta tabela procurou-se obter a variação obtida no valor do CCAS e simultaneamente no Si, que será apresentado posteriormente. Para tal foram utilizados os Arred definidos na doutrina e sem Arred, o FCCS para a Carga 7 do obus M119 LG 105 mm, o erro máximo no Arred da Cota para diferentes ΔZ (até aos 400 m por serem também as ΔZ consideradas nas TTN), bem como as Cotas com sinal positivo e negativo para o TM e para o TV em função de 841 distâncias compreendidas entre os 3000 e os 11400, alcance tático mínimo e alcance máximo para a carga considerada, respetivamente. As Tabelas 8 e 9 apresentam os intervalos de erro obtidos para a CCAS em função de diferentes ΔZ .

Da análise das tabelas referidas podemos constatar que os erros obtidos são tanto maiores quanto maior for a ΔZ e que os erros obtidos são muito diferentes para o TM e para o TV. Verifica-se, ainda, que no TM o erro obtido no valor da CCAS é próximo de zero, podendo no máximo atingir valores próximos de $\pm 0,5$ mils, enquanto que para o TV este erro é muito maior fruto da influência que a CCAS tem na determinação do respetivo Si, podendo atingir valores superiores a ± 3 mils.

Tabela 8 – Influência dos Arred no cálculo da CCAS (TM)

Arredondamento da Cota (-2 m)						Arredondamento da Cota (+2 m)					
ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)	
	Min	Max		Min	Max		Min	Max		Min	Max
57	0,0	0,2	-57	-0,3	0,0	53	-0,2	0,0	-53	0,0	0,3
107	0,0	0,3	-107	-0,3	0,0	103	-0,2	0,0	-103	0,0	0,4
157	0,0	0,3	-157	-0,4	0,0	153	-0,2	0,0	-153	0,0	0,3
207	0,0	0,3	-207	-0,4	0,0	203	-0,3	0,1	-203	-0,1	0,3
257	0,0	0,3	-257	-0,4	0,0	253	-0,3	0,1	-253	-0,1	0,1
307	-0,1	0,3	-307	-0,4	0,1	303	-0,3	0,1	-303	-0,1	0,3
357	-0,1	0,3	-357	-0,5	0,1	353	-0,3	0,1	-353	-0,1	0,4
407	-0,1	0,4	-407	-0,5	0,1	403	-0,3	0,1	-403	-0,1	0,4

Tabela 9 – Influência dos Arred no cálculo da CCAS (Tiro Vertical)

Arredondamento da Cota (-2 m)						Arredondamento da Cota (+2 m)					
ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)	
	Min	Max		Min	Max		Min	Max		Min	Max
57	-0,5	-0,2	-57	-0,2	0,8	53	0,1	0,5	-53	-1,0	0,1
107	-0,6	0,1	-107	-0,5	1,2	103	0,1	0,7	-103	-1,4	0,4
157	-0,8	0,2	-157	-1,0	1,5	153	-0,1	0,9	-153	-1,8	0,7
207	-0,8	0,4	-207	-1,5	1,9	203	-0,2	1,0	-203	-2,2	1,1
257	-1,0	0,5	-257	-1,9	2,2	253	-0,4	1,2	-253	-2,6	1,5
307	-1,1	0,7	-307	-2,3	2,6	303	-0,4	1,4	-303	-3,1	1,9
357	-1,2	0,9	-357	-2,8	2,8	353	-0,6	1,5	-353	-3,5	2,1
407	-1,4	1,0	-407	-3,2	3,2	403	-0,8	1,7	-403	-3,9	2,6

4.4.3. Sítio

O Si é determinado somando o AngSi e a CCAS, valores que, como vimos anteriormente, são determinados com aproximação à décima de milésimo.

A partir a Tabela 27, Apêndice H, construída com a dupla finalidade de avaliar a influência dos Arred no cálculo da CCAS e do Si, foram construídas as Tabelas 10 e 11 que apresentam os intervalos de erro obtidos para o Si em função de diferentes ΔZ , à semelhança do que foi apresentado para a CCAS.

Tabela 10 – Influência dos Arred no cálculo do Si (TM)

Arredondamento da Cota (-2 m)						Arredondamento da Cota (+2 m)					
ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)	
	Min	Max		Min	Max		Min	Max		Min	Max
57	0	1	-57	-1	0	53	-1	0	-53	0	1
107	0	1	-107	-1	0	103	-1	0	-103	0	1
157	0	2	-157	-2	0	153	-2	0	-153	0	2
207	-1	2	-207	-2	1	203	-2	1	-203	-1	2
257	-1	2	-257	-2	1	253	-2	1	-253	-1	2
307	-1	2	-307	-2	1	303	-2	1	-303	-1	2
357	-1	3	-357	-3	1	353	-2	1	-353	-1	2
407	-1	3	-407	-3	1	403	-3	2	-403	-2	3

Tabela 11 – Influência dos Arred no cálculo do Si (Tiro Vertical)

Arredondamento da Cota (-2 m)						Arredondamento da Cota (+2 m)					
ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)		ΔZ Real (m)	Variação (mils)	
	Min	Max		Min	Max		Min	Max		Min	Max
57	-1	1	-57	-1	1	53	0	1	-53	-1	0
107	-1	1	-107	-1	1	103	-1	1	-103	-1	1
157	-1	1	-157	-2	1	153	-1	1	-153	-2	1
207	-1	1	-207	-2	2	203	-1	1	-203	-2	2
257	-1	1	-257	-3	2	253	-1	1	-253	-3	2
307	-1	1	-307	-3	3	303	-1	2	-303	-3	2
357	-2	1	-357	-3	3	353	-1	2	-353	-4	3
407	-2	2	-407	-4	3	403	-1	2	-403	-4	3

Da análise destas tabelas podemos constatar que os erros obtidos são tanto maiores quanto maior for a ΔZ e que, contrariamente ao que acontece na CCAS, os erros obtidos não são muito diferentes para o TM e para o TV. Constata-se, ainda, que para o TM o erro no valor do Si pode variar no intervalo [-3 , 3] mils, enquanto que para o TV a variação é de [-4 , 3] mils.

Atendendo ao facto de os intervalos de valores serem consideráveis em termos de valor de Si, procurou-se compreender qual a sua frequência de acontecimento. Com base nas frequências relativas de cada erro obtido nas cerca de 27 000 simulações efetuadas para o TM, construiu-se o gráfico da Figura 20.

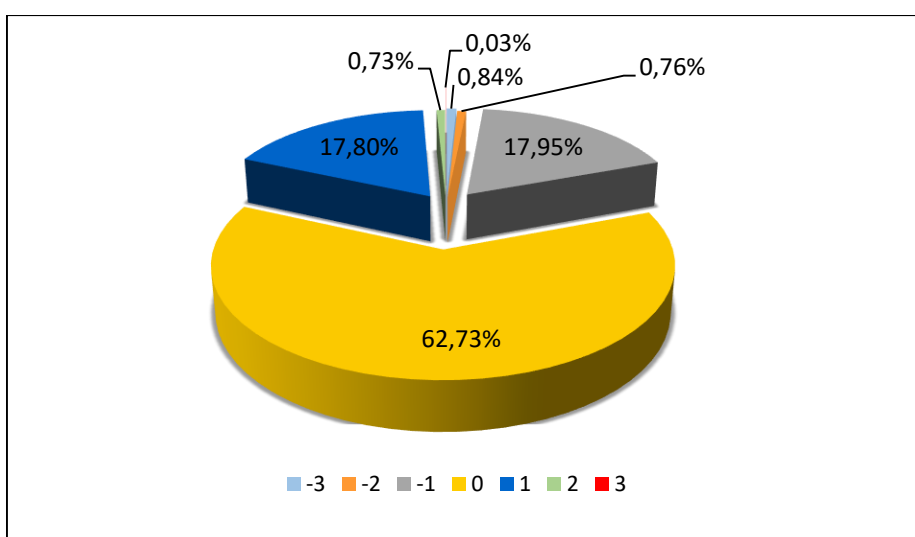


Figura 20 – Frequência de erros no cálculo do Si (TM)

Da análise do gráfico podemos verificar que, em aproximadamente 63% das situações, a utilização de Arred não produz qualquer efeito no valor do Si. Contudo, não podemos deixar de ter em consideração que em 37% das situações o Si é afetado e mais comumente com valores de ± 1 mil.

Relativamente ao TV, em função da menor disponibilidade de alcances, foram efetuadas cerca de 13 800 simulações e construiu-se o gráfico da Figura 21. Da sua análise podemos verificar que no TV o erro devido aos Arred é menos frequente do que no TM uma vez que em aproximadamente 82% das situações a utilização de Arred não produz qualquer efeito no valor do Si. Nas restantes situações o Si é afetado com maior frequência, como no TM, em ± 1 mil.

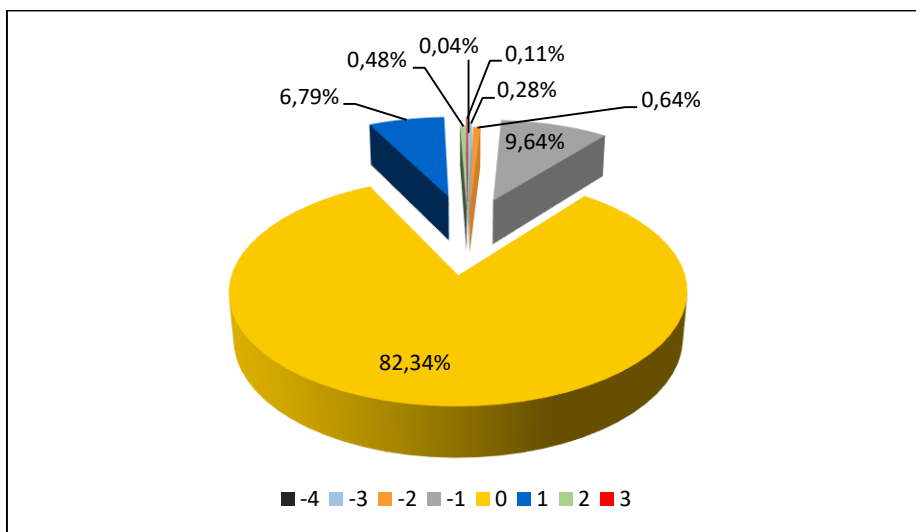


Figura 21 – Frequência de erros no cálculo do Si (TV)

4.4.4. Elevação

Finalmente, depois de analisados separadamente cada elemento utilizado na determinação da Elevação e uma vez que esta é determinada somando a Alça ao Si (valores arredondados à unidade de mils), podemos afirmar que o maior erro gerado pelos Arred na determinação da Elevação advirá dos erros obtidos no cálculo do Si. A Alça é determinada por interpolação na TTN, arredondada à unidade de milésimo, logo pode afetar a Elevação com um ϵ_a máximo de 0,5 mils. Se considerarmos apenas o ϵ_a mais comum obtido na determinação do Si, 1 mils, podemos obter um ϵ_a total de $[0, 1,5]$ mils.

Em suma, os Arred utilizados na determinação deste Elemento de tiro, e considerando apenas as situações mais comuns, poderão afetá-lo até 1,5 mils. Tal como considerado para

a Direção, importa compreender em que medida estas variações afetam a precisão do tiro. Para compreender esta influência construiu-se a Tabela 28 constante no Apêndice I, recorrendo à variação da Dist em função da variação de 1 mils de Alça apresentado na TTN para determinar o desvio em Dist, em metros, em função do erro de 1,5 mils na Elevação. Estes desvios foram comparados com o desvio Provável em Alcance (ϵ_x) para a carga máxima de cada obus em uso no Exército Português.

Da análise do gráfico da Figura 22, construído a partir da Tabela 28, podemos verificar que os erros de Arred, resultantes do cálculo da Dist, podem afastar o tiro do Obj entre aproximadamente 5 e 68 m. Podemos observar que, entre os 3000 e os 5000 m aproximadamente, distâncias que taticamente corresponderiam ao espaço de batalha imediatamente à frente da OAZR²¹ para todos os materiais, o erro provocado pelo Arred será igual ou superior ao raio de ação eficaz da granada. Constata-se ainda que o afastamento diminui à medida que a Dist entre a Btr e o Obj aumenta.

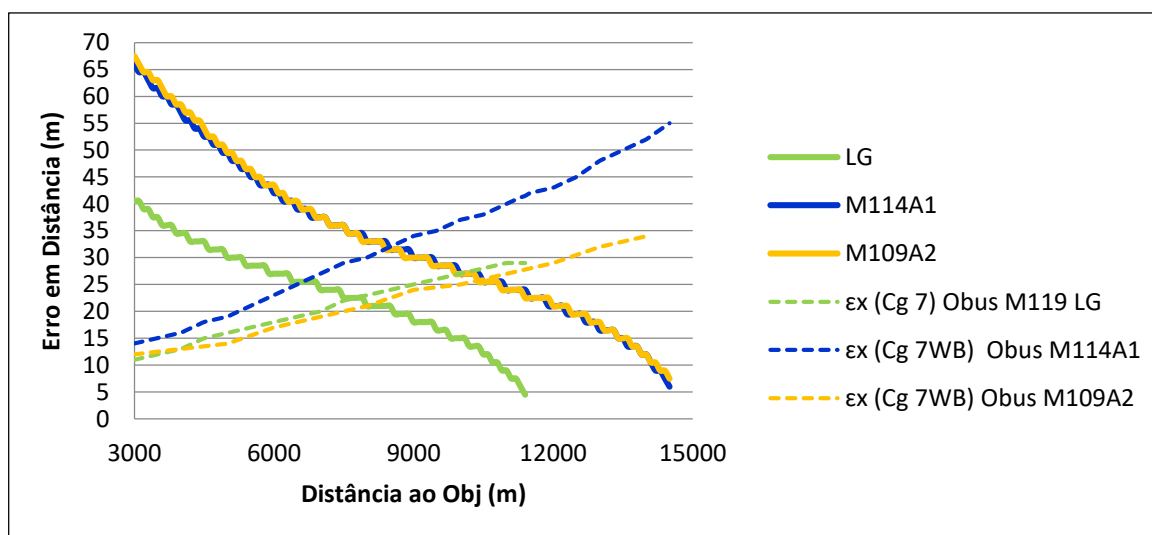


Figura 22 – Comparação entre afastamento e raio de ação da granada

Da análise da Figura 22 podemos verificar os valores de ϵ_x para os obuses M114A1 e M109A2 são muito semelhantes e que, entre os 3000 e os 6000 m, o erro em Dist para os diferentes materiais chega a ultrapassar quatro vezes o valor do ϵ_x , sendo mesmo de 6 vezes no caso do obus M109A2. Só a partir dos 6100, 6800 e 8400 m, para os obuses M119 LG, M114A1 e M109A2 respetivamente, o erro passa a ser igual ou inferior ao valor do ϵ_x .

²¹ Orla Anterior da Zona de Resistência. Zona mais avançada das forças em posição defensiva.

4.5. Síntese Comparativa

A Tabela 12 permite-nos comparar os intervalos de afastamentos obtidos pela utilização de Arred nos diferentes ElemTir. Podemos constatar que a Elevação é o elemento mais afetado pelos Arred, podendo atingir desvios de afastamento superiores ao do raio de ação eficaz das granadas explosivas para os referidos materiais. No caso da GEp e da Direção, essa afetação poderá ser de cerca de metade do raio de ação eficaz da granada. Em linguagem matemática, o raio de ação seria de 15 m para as granadas 105 mm e de 25 m para as granadas 155 mm.

Tabela 12 – Comparação dos afastamentos obtidos nos ElemTir

Elemento de tiro	Intervalo de Desvio (m)	
Carga	Não aplicável	
GEp	]0-25]	
Direção	[1 - 21]	
Elevação	Obus M119 LG 105 mm	[5-41]
	Obus M114A1 155 mm	[6-66]
	Obus M109A2 155 mm	[8-68]

Os intervalos refletidos na Tabela 12 demonstram que, em todos os ElemTir, à exceção da Carga, o efeito dos Arred utilizados na sua determinação poderá afastar o impacto do projétil uma Dist superior à do seu raio de ação, neutralizando os seus efeitos sobre o Obj.

CAPÍTULO 4 - NOVA FORMA DE ARREDONDAMENTO

Neste capítulo procura responder-se à QD3 “De que forma se pode minimizar o efeito dos arredondamentos na precisão do tiro de AC?”. Para tal, procura-se compreender se existe uma razão forte para utilização dos Arred e se é possível a sua substituição por novos procedimentos mais simples e com menor afetação na precisão do tiro de AC.

5.1. Pedido de Tiro

5.1.1. Arredondamentos na localização por Coordenadas Retangulares

Para efetuar o Pedido de Tiro por Coordenadas Retangulares o OAv envia ao PCT, essencialmente, as coordenadas do Obj (6 dígitos no Tiro Área e 8 dígitos no Tiro de Precisão). Para determinar as coordenadas de um Obj, no Tiro de Área, o OAv pode utilizar o novo Sistema de Observação CORAL²² ou uma carta topográfica e um esquadro de coordenadas. Uma vez que o esquadro de coordenadas está graduado de 20 em 20 m, tal permite ao OAv determinar coordenadas com precisão até metade desse intervalo, ou seja, aos 10 m. As dificuldades de localização na carta que, eventualmente, o OAv possa sentir, não devem ser vistas como uma necessidade de arredondar o valor, até porque se existir erro na localização, o Arred ampliará esse erro, como já demonstrado nos capítulos anteriores. Se utilizar o CORAL, a necessidade de arredondar as coordenadas é ainda menor.

Se considerarmos a localização de um PR, é ainda menos imperativa a necessidade de Arred das coordenadas deste ponto. A doutrina define que na execução de Regulações de precisão ABCA²³, o PR deve ser definido com precisão de ± 10 m, ou seja, 8 dígitos. Uma vez que também exige que o PR seja levantado topograficamente (pela Secção de Topografia), e que, atualmente, os equipamentos topográficos utilizados para determinação de coordenadas permitem fornecer coordenadas ao milímetro, não existe uma real necessidade de indicar coordenadas ao PCT com 8 dígitos, uma vez que estaremos a afetar a precisão de localização do PR.

Mesmo considerando que se trata de uma regulação e que o tiro será levado até ao PR, uma maior precisão do tiro inicial poderá conferir uma redução do número de munições a utilizar. A Figura 23 relaciona os erros obtidos para os Arred aos 100, 10 e 1 m

²² Avançado binóculo com câmara térmica e designador laser empregue em missões de vigilância, reconhecimento e aquisição de objetivos, nos mais variados ambientes e condições climáticas. Adquire e determina coordenadas de objetivos em tempo real.

²³ *American, British, Canadian, Australian* – técnica desenvolvida por estes países, daí o nome desta técnica.

respetivamente. Da sua análise podemos verificar que o ganho em precisão é enorme quando se reduz o Arred utilizado. Se, em detrimento do Arred aos 100 m adotarmos o Arred aos 10 m, obtemos uma redução no erro de aproximadamente 80%. Se em vez de utilizar 8 dígitos (10 m) passarmos a utilizar 10 dígitos, ao (1 m), o ganho em precisão é na ordem do 90%. Uma vez que os equipamentos utilizados permitem maior precisão do que a exigida pelos Arred, a sua alteração seria extremamente vantajosa do ponto de vista da precisão.

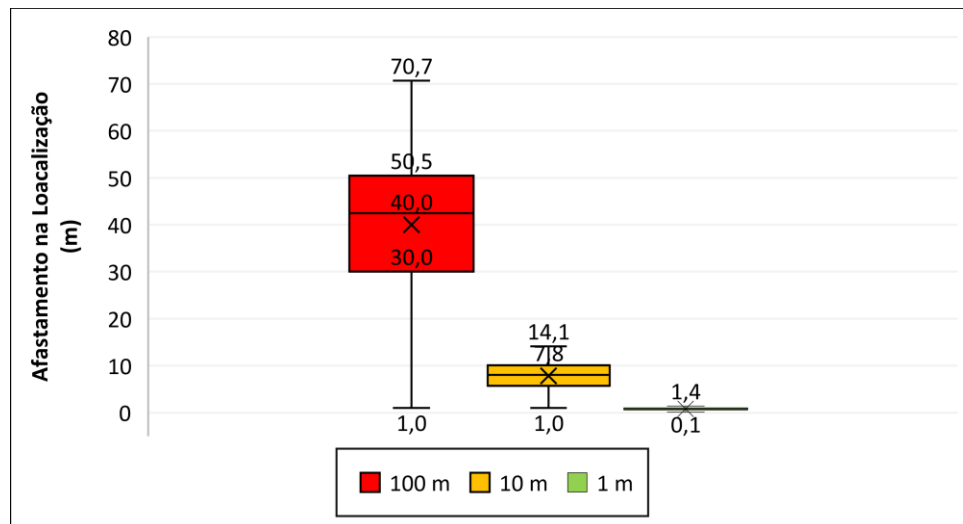


Figura 23 – Comparação do efeito dos Arred das Coordenadas

5.1.2. Arredondamentos na localização por Coordenadas Polares

Neste método de localização de Obj o OAv utiliza a bússola ou o Goniómetro de Bússola (GB) para determinar o RLO e estima a Dist ao Obj se não dispuser do Sistema de Observação CORAL ou o LRB 6K²⁴ que lhe permitem determinar a Dist com maior precisão ou fornecer instantaneamente as Coordenadas Retangulares do Obj. Considerando o pior cenário, utilização de bússola e estimativa da Dist, os Arred definidos farão algum sentido. Uma vez que a bússola prismática utilizada pelo OAv está graduada de 20 em 20 mils, o OAv só poderá determinar rumos com a precisão de metade desse intervalo, ou seja, 10 mils. Se, porventura, recorrer à utilização do GB, poderia enviar o rumo com aproximação ao milésimo, no mínimo, já que este equipamento está graduado de 1 em 1 mils. Podendo determinar os rumos com aproximação ao mils, não faria sentido o Arred aos 10 mils, com perda na precisão, ficando o erro dependente apenas do Arred da Dist.

²⁴ Binóculo telêmetro a laser portátil que permite medição de distâncias até aos 6000 m com precisão de ± 1 m. Dispõe de bússola magnética digital e permite uma vasta gama de funcionalidades, das quais se destaca a determinação da ΔZ entre o PO e o Obj.

Quanto à Dist, se o OAv não dispuser de equipamentos mais precisos, faz todo o sentido que esta possa ser envida, ao PCT, arredondada aos 100 m, uma vez que se trata de um valor estimado, não sendo possível exigir maior precisão. Se o OAv dispuser de equipamentos com maior precisão, que lhe permitam enviar distâncias ao metro conjugadas com rumos ao milésimo, obter-se-ão grandes ganhos de precisão. Esta alteração permitiria passar de um desfasamento médio de aproximadamente 25 m para 1 m e o erro máximo de aproximadamente 50 m para 2 m, como nos mostra a Figura 24, significando uma redução de 96% no erro de afastamento.

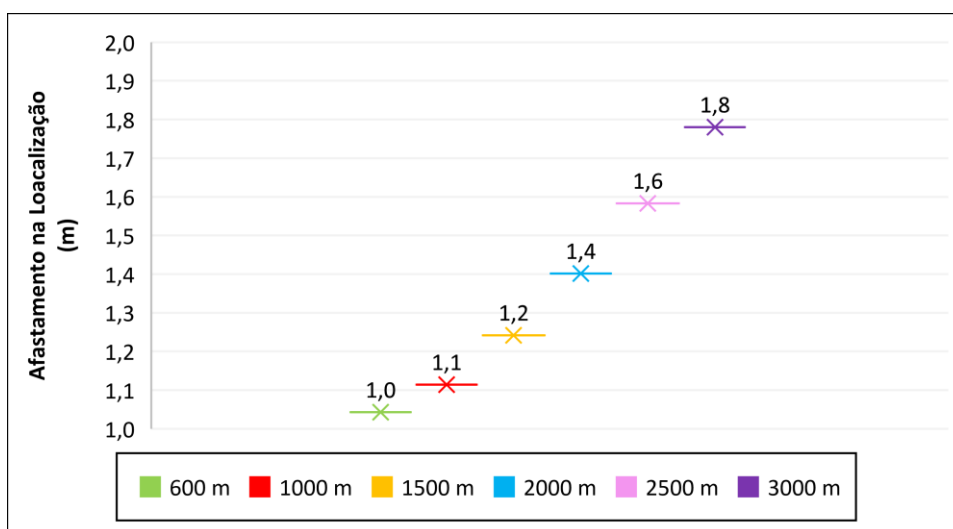


Figura 24 – Afastamento devido ao Arred do RLO (1 mils) e da Dist OAv-Obj (1 m)

5.1.3. Arredondamentos na localização por desvios métricos em relação a um PR

Na localização de Obj a partir de um PR, o OAv utiliza os equipamentos identificados na alínea anterior para a determinação do Rumo e dos desvios métricos lateral e em Dist, podendo ainda recorrer aos binóculos estadeados para determinação do desvio lateral. Os binóculos estadeados estão graduados de 5 em 5 mils mas permitem leituras por interpolação ao milésimo, uma vez que assim é exigido nas observações do Tiro de Precisão. Como o OAv multiplica o valor da leitura pela Dist em km (método expedito), obtém valores inteiros diferentes dos arredondados aos 10 m, pelo que estes podem ser enviados ao metro sem Arred. Se o desvio em Dist for determinado por estimativa, faz sentido que seja aproximada aos 100 m, como anteriormente referido. No entanto, existindo a possibilidade de utilizar o CORAL-CR ou o LRB 6K para determinação deste elemento, com precisão ao metro, não faz qualquer sentido o seu Arred.

Verifica-se ainda que os maiores erros de afastamento advêm da combinação de pequenos desvios laterais e grandes desvios em Dist, pelo que se deduz que os maiores desvios em Dist têm mais influência nos afastamentos produzidos do que os desvios laterais. É de realçar que o efeito do Arred do RLO é absorvido pelo efeito do Arred dos desvios resultado da amplitude praticamente nula dos afastamentos obtidos em cada situação. Obtendo desvios em Dist com precisão ao metro, os erros de localização do Obj que poderiam atingir os 50 m serão reduzidos até ± 2 m, como nos mostra a Figura 25, o que faz com que o procedimento de Arred aos 50 m se torne absolutamente desnecessário.

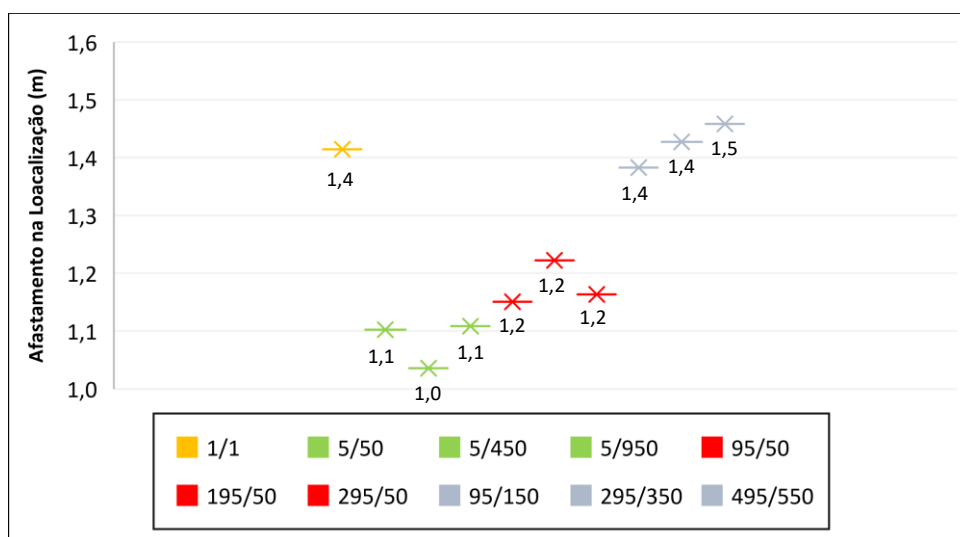


Figura 25 – Afastamento devido aos Arred do desvio em Dist

5.2. Elementos de Tiro

5.2.1. Graduação de Espoleta

A GEp é fornecida às secções de bf com aproximação à décima, o que pode originar um erro de Arred de 0,05 u.g.e. ou s, como já referido. Uma vez que as espoletas apenas permitem a graduação à decima, mesmo com sistema de nónio²⁵, torna-se impossível anular o erro associado ao Arred na determinação da GEp.

5.2.2. Direção

Uma vez que a Direção é enviada às secções de bf à unidade do mils, não seria útil enviá-la à décima do mils porque as escalas de direções das lunetas não permitem a marcação

²⁵ Dispositivo que permite efetuar graduações mais precisas. No caso das espoletas que o utilizam permite a marcação das décimas da GEp, uma vez que a escala principal da espoleta esta graduada à unidade.

precisa desses valores. Os erros originados pelos Arred na determinação da Dc poderiam reduzir-se com a utilização dos valores intermédios com mais uma casa decimal, na fase do cálculo, e arredondado apenas o valor final a enviar às secções. A utilização destes Arred não afetaria significativamente os cálculos, manuais, e traduzir-se-ia em ganho de precisão.

Desta forma, na utilização da fórmula (6), o erro de Arred absoluto manter-se-ia no intervalo $]0, 0,5]$ mils caso a Dc fosse determinada analiticamente.

Na utilização da fórmula (7) também se manteria o erro de $]0, 0,5]$ mils fruto do Arred da Cor Drv ou do valor final da Dc na situação em que a Dc é calculada manualmente. Caso a Dc Top e a Cor Drv sejam calculadas analiticamente e utilizadas com uma casa decimal, o erro reduz-se de $]0, 1]$ mils para $[0, 0,6]$ mils. Uma vez que o ϵ_a associado a cada elemento seria no máximo de 0,05 mils, a soma da Dc Top e da Cor Drv totalizariam um ϵ_a máximo de 0,1 mils. Como o valor da Dc seria posteriormente arredondado à unidade, com um ϵ_a máximo de 0,5 mils, seria obtido um ϵ_a máximo de $[0, 0,6]$ mils.

Para a fórmula (8) manter-se-ia o ϵ_a de $]0, 0,5]$ mils para a Cor Tot Dc obtida da Preparação Experimental e Dc Top da Prancheta, resultante do Arred da Cor Tot Dc ou da Dc final. Caso os valores da Dc Top, determinada analiticamente, e a Cor Tot Dc sejam utilizados com uma casa decimal, o ϵ_a máximo da sua soma será de 0,1 mils, que adicionado ao erro do Arred da Dc à unidade originará um ϵ_a máximo de $[0, 0,6]$ mils para as Dc determinadas desta forma.

Caso a Cor Tot Dc seja obtida na Prep Teo a partir de valores de Cor Teo Dc e Cor Res Dc aproximados à décima, este elemento será afetado com um ϵ_a de $[0, 0,1]$ mils. Se a Dc Top for determinada na Prancheta a Dc sofrerá de um erro absoluto de $[0, 0,6]$ mils, fruto da junção do erro da Cor Tot Dc e do Arred final da Dc. Se a Dc Top for determinada analiticamente com aproximação à décima, estará afetada de um ϵ_a de 0,05 mils que, somado ao erro da Cor Tot de Dc e do Arred final, originará um ϵ_a de $[0, 0,65]$ mils na Dc determinada.

Na fórmula (9), a soma da Cor Dc TTG com a Cor Drv com aproximação à décima origina um ϵ_a de $[0, 0,1]$ mils. Somados estes elementos à Dc Top determinada na Prancheta, a Dc será afetada de $[0, 0,6]$ mils. Caso a Dc Top seja determinada analiticamente com aproximação à décima será afetada de um ϵ_a de 0,05 mils, ficando a Dc afetada por um erro absoluto de $[0, 0,65]$ mils. A Tabela 13 resume os erros absolutos obtidos para as diferentes situações enunciadas.

A Figura 26, compara os erros obtidos pelos Arred definidos pela doutrina, referidos no Capítulo 3, com os erros obtidos na utilizando uma casa decimal nos cálculos intermédios da Dc.

Tabela 13 – Erros obtidos na Dc (cálculos intermédios a uma casa decimal)

Fórmula	ε_a de arredondamento (mils)	
	Manual	Analítico
Dc = Dc Top	0	]0 , 0,5]
Dc = Dc Top + Cor Drv	]0 , 0,5]	[0 , 0,6]
Dc = Dc Top + Cor Tot Dc (Aferição)	]0 , 0,5]	[0 , 0,6]
	[0 , 0,6]	[0 , 0,65]
Dc = Dc Top + Cor Dc TTG + Cor Drv	[0 , 0,6]	[0 , 0,65]

Da análise desta figura podemos verificar que a utilização de uma casa decimal nos cálculos intermédios permite um ganho significativo em termos de precisão da Dc. Em algumas situações o ε_a mantém-se no intervalo]0 , 5] mils, mas nas restantes existe uma redução na ordem dos 40% a 57% de [0 , 1] mils e [0 , 1,5] mils para [0 , 0,6] mils e [0 , 0,65] mils, respetivamente.

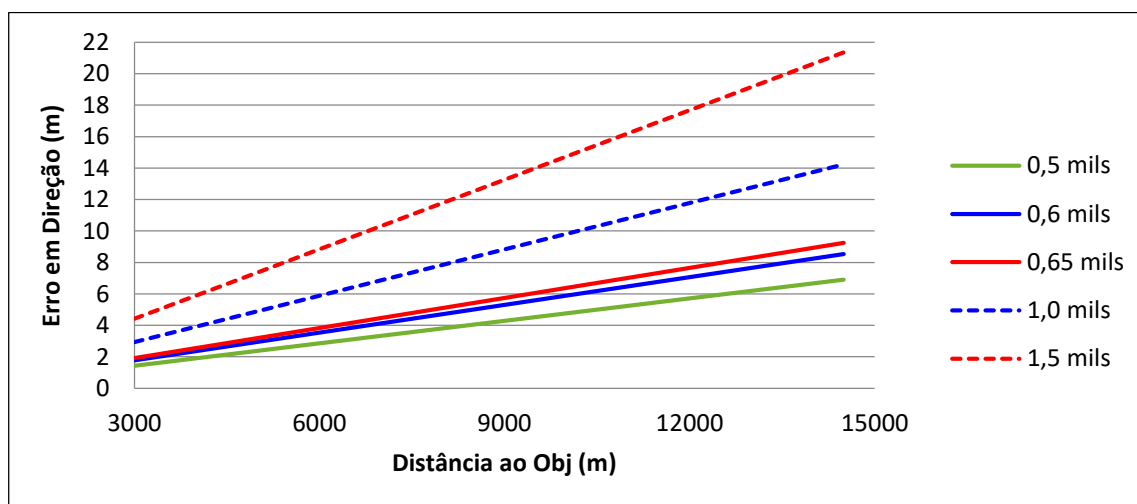


Figura 26 – Comparação entre ε_a na Dc (Doutrina vs cálculos intermédios à décima)

Da análise do gráfico da Figura 26 podemos verificar que os erros resultantes da forma de Arred apresentada permitem reduzir o afastamento relativamente ao Obj de entre 1 a 21 m para 1 a 9 m. Para o erro de Arred de 0,6 mils obtemos um afastamento entre 2 e 8 m, o que significa uma redução de 40% relativamente ao erro anteriormente obtido para 1,0

mils. Para o erro de 0,65 mils o afastamento situa-se entre 2 e 9 m, redução de 57% em relação ao erro de 1,5 mils, e para o erro de 0,5 mils mantém-se, como já identificado, entre 1 e 7 m.

5.2.3. Elevação

Para o cálculo da Elevação será tido em consideração o princípio de que os cálculos intermédios devem ser arredondados com pelo menos mais uma casa decimal do que o do valor final pretendido. Como a Elevação é enviada às Secções de bf com aproximação ao mils, a Alça e o Si deverão ser arredondamentos à decima do mils e, consequentemente, o AngSi e o FCCS, que concorrem para a determinação do Si, à centésima do mils.

5.2.3.1. Ângulo de Sítio

O AngSi pode ser determinado de duas formas, utilizando a RS ou analiticamente. Na RS, a escala das distâncias está graduada aos 10 m e a das ΔZ ao metro, sendo os AngSi determinados aplicando automaticamente o coeficiente 1,0186. Esta foi a razão pela qual a última revisão do Regulamento de tiro incluiu no cálculo manual a utilização deste coeficiente na determinação do AngSi. Contudo, o cálculo manual continua a apresentar uma diferença significativa relativamente ao considerado na RS, já que o primeiro utiliza o Arred da Dist aos 100 m. Na RS as distâncias são marcadas aos 10 m. Este facto faz com que os valores calculados de ambas as formas sejam diferentes e que os AngSi determinados analiticamente sejam afetados por erros maiores, não existindo nenhuma razão para que o cálculo não se faça com a Dist aproximada aos 10 m uma vez que é assim fornecida pelo OpPlan.

O AngSi é ainda afetado pelo Arred da Cota, efetuado pelo OAv no Pedido de Tiro. Uma vez que, mesmo com carta topográfica, ou mais facilmente com os novos equipamentos disponíveis, o OAv consegue determinar as Cotas ao metro, não fará sentido arredondar a Cota aos 5 m. O não Arred da Cota e da Dist permitiria eliminar o erro de Arred absoluto de [0,1 , 2,8] mils, identificado no Capítulo 3, reduzindo-o para [0 , 0,005] mils fruto do seu Arred à centésima do mils.

5.2.3.2. Correção Complementar do Ângulo de Sítio

Uma vez que a CCAS depende, essencialmente, do valor do AngSi e é obtida pelo produto deste valor com o FCCS, os erros associados ao AngSi propagar-se-ão à CCAS.

Considerando que os valores mais altos de FCCS atingem valores absolutos próximos dos 2 mils, no TM e no TV, bem como o ϵ_a máximo de 0,005 mils do AngSi, a CCAS passaria a ficar afetada por ϵ_a de [0 , 0,01] mils. Juntando o facto de este valor ser arredondado à centésima do mils, resultaria num ϵ_a total de [0 , 0,015] mils.

5.2.3.3.Sítio

Uma vez que o Si resulta da soma do AngSi e da CCAS, este passaria também a ficar afetado da soma dos erros destes dois elementos, [0 , 0,02] mils. Como o valor do Si seria arredondado à décima, acresceria ao erro anterior o erro de 0,05 mils, resultando num ϵ_a final de [0 , 0,07] mils. Como identificado no Capítulo 3, apesar de, na maioria das situações, o valor do Si não se alterar em consequência dos Arred utilizados, a adoção destas regras reduziria esse impacto a praticamente zero. Esta alteração diminuiria a amplitude dos erros obtidos que deixariam de variar [-3 , 3] mils no TM e [-4 , 3] mils no TV, para no máximo variar $\pm 0,1$ mils em ambas as situações, reduzindo significativamente os efeitos dos Arred na precisão deste elemento.

5.2.3.4.Elevação

Uma vez que, tal como a Dc, a Elevação é enviada às Secções de bf com aproximação à unidade, este Elemento de tiro seria afetado de um ϵ_a de [0 , 0,12] mils, resultante do erro identificado para o Si e do Arred da Alça à décima, 0,05 mils.

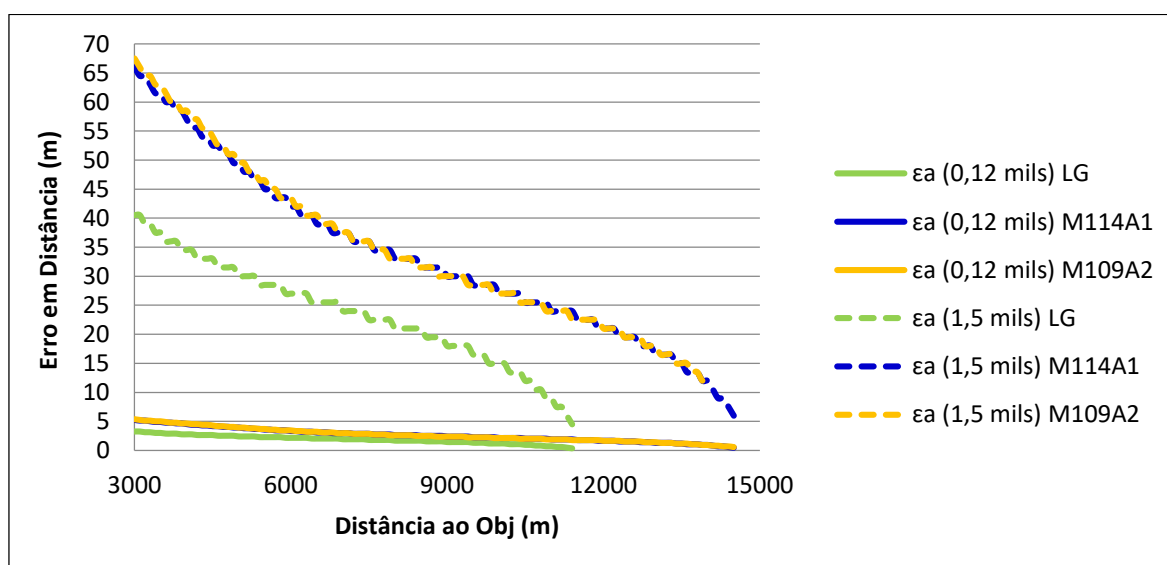


Figura 27 – Comparação dos afastamentos originados pelos erros absolutos

Da análise do gráfico da Figura 27 podemos verificar que a alteração da forma de Arred permite reduzir o erro de afastamento em aproximadamente 93%, passando de um intervalo de erro de 5 a 68 m para um intervalo de 0 a 5 m. Uma vez mais, podemos constatar que os erros são praticamente iguais, variando entre 0 e 5 m para os obuses de calibre 155 mm e de 0 e 3 m para o obus de 105 mm, LG.

5.3. Síntese Comparativa

As Tabelas 14 e 15 permitem-nos comparar os intervalos de afastamentos obtidos pela utilização de Arred doutrinários e pela utilização da forma de Arred proposta. Podemos constatar que existe uma considerável redução nos afastamentos obtidos tanto no ElemTir como nos métodos de localização de Obj. Enquanto que, utilizando os Arred doutrinários, poderemos obter afastamentos superiores aos do raio de ação das granadas, através da forma de Arred proposta, o afastamento obtido será sempre inferior ao raio de ação da granada.

Tabela 14 – Afastamentos obtidos na Localização de Obj pelos dois Arred

Método de Localização	Arredondamento doutrinário	Arredondamento proposto
Coordenadas Retangulares	[1-71]	]0, 1]
	[1-14]	
Coordenadas Polares	[1-52]	[0-2]
Desvios Métricos	[0-50]	[0-2]

Tabela 15 – Afastamentos obtidos nos ElemTir pelos dois Arred

Elemento de tiro	Intervalo de Desvio com arredondamento doutrinário (m)		Intervalo de Desvio com arredondamento proposto (m)	
Carga	Não aplicável		Não aplicável	
GEp	]0-25]		]0-25]	
Direção	[1-21]		[1-9]	
Elevação	Obus M119 LG 105 mm	[5-41]	Obus M119 LG 105 mm	[0-3]
	Obus M114A1 155 mm	[6-66]	Obus M114A1 155 mm	[0-5]
	Obus M109A2 155 mm	[8-68]	Obus M109A2 155 mm	[1-5]

As Tabela 16 e 17 permitem comparar as duas formas de Arred, doutrinária e proposta. Podemos constatar que, para os métodos de localização de Obj, a forma proposta apresenta apenas duas formas de Arred, ao metro para valores métricos e ao mils para valores angulares; o que permite simplificar a elaboração de Pedidos de tiro. Quanto aos Arred

propostos para a determinação dos ElemTir, a alteração consiste em considerar a Dist Top aos 10 m na determinação do AngSi e do FCCS e em aumentar uma casa decimal nos cálculos intermédios da Elevação.

Tabela 16 – Comparação de Arred utilizados nos métodos de localização de Obj

Localização	Item	Arredondamento doutrinário	Arredondamento proposto
Coordenadas Retangulares	Coordenadas	10 m (precisão) 100 m (Área)	1 m
	Cota	5 m	1 m
	RLO	10 mils	1 mils
Desvios Métricos	RLO	10 mils	1 mils
	Desvio em direção	10 m	1 m
	Desvio em distância	100 m	1 m
	Desvios em altura	5 m	1 m
Coordenadas Polares	RLO	10 mils	1 mils
	Distância	100 m	1 mils
	Desvios em altura	5 m	1 mils
	Ângulo de Sítio	1 mils	1 mils

Tabela 17 – Comparação de Arred utilizados na determinação dos ElemTir

Localização	Item		Arredondamento Doutrinário		Arredondamento Proposto
GEp	Único		À décima (u.g.e. ou s)		À décima (u.g.e. ou s)
Direção	Direção Topográfica		À unidade (mils)		À décima (mils) – quando possível
	Correções de Dc		À unidade (mils)		À décima (mils)
	Direção		À unidade (mils)		À unidade (mils)
Elevação	AngSi	ΔZ	À unidade (m)		À unidade (m)
		Distância	100 m (km)		Mínimo 10 m (km)
		AngSi	À décima (mils)		À centésima (mils)
	Sítio	AngSi	À décima (mils)		À centésima (mils)
		CCAS	FCCS	Interp para Dist aos 100 m	Interp para Dist aos 10 m
			AngSi	À décima (mils)	À centésima (mils)
		CCAS	À décima (mils)		À centésima (mils)
		Sítio	À unidade (mils)		À décima (mils)
	Alça		À unidade (mils)		À décima (mils)
	Elevação		À unidade (mils)		À unidade (mils)

CONCLUSÕES

O presente capítulo representa o culminar da investigação desenvolvida e que resultou neste trabalho. Serão aqui apresentadas algumas reflexões finais sobre os resultados alcançados e as conclusões que resultaram de todo o processo de investigação.

O século XXI trouxe às operações militares um novo paradigma. As alterações ocorridas no ambiente operacional impuseram às operações militares a necessidade de limitar os danos colaterais, tanto na população como nas infraestruturas. Para a AC a precisão tornou-se um imperativo sem inigualável na sua história. Contudo a doutrina portuguesa utiliza procedimentos adotados há muitos anos, que não se encontram adaptados às novas necessidades, e aos novos equipamentos entretanto adquiridos. Um desses procedimentos prende-se com a adoção de diversas formas de arredondamento tanto nos métodos de localização de objetivos como na determinação dos Elementos de Tiro.

Este estudo procurou compreender a influência dos arredondamentos definidos pela doutrina portuguesa na precisão do tiro de AC, comparando o afastamento entre a localização espectável do impacto sem utilização de arredondamentos com a posição originada pelos arredondamentos utilizados. Comparou ainda o afastamento obtido com o raio de ação das granadas utilizadas no Exército Português e procurou apresentar uma nova forma de arredondamento que permitisse reduzir o impacto dos arredondamentos na precisão do tiro de AC.

O estudo concluiu que os arredondamentos utilizados nos métodos de localização de objetivos dos Pedidos de tiro podem anular completamente a eficácia do tiro efetuado pela AC. A conjugação dos diferentes arredondamentos definidos pode originar erros de afastamento superiores aos raios de ação, considerados eficazes, para as granadas em uso no Exército Português. No método de localização de objetivos por Coordenadas Retangulares é possível obter um afastamento de até 71 m, no método de localização por Coordenadas Polares, até 52 m e no método de localização por Desvios Métrico em relação a um PR, até 50 m.

Relativamente à influência dos arredondamentos na determinação dos Elementos de Tiro, foi possível concluir que esta influência também é bastante significativa. Os arredondamentos utilizados nos Elementos de Tiro podem igualmente originar afastamentos superiores aos raios de ação das granadas utilizadas. Com maior impacto na Elevação que pode atingir afastamentos na ordem dos 41 m para o obus M119 LG 105 mm, 66 para o obus M114A1 155 mm e 68 m para o obus M109A2 155 mm. Com menor impacto, mas ainda

assim com afastamento de grandeza considerável, conclui-se que na Graduação de Espoleta e na Direção os arredondamentos podem originar afastamentos até 25 e 21 m respetivamente, significando desvios iguais ou próximos do raio de ação das granadas de 155 mm e superiores às de 105 mm.

Constatado que os arredondamentos utilizados nos métodos de localização de Obj e na determinação dos Elementos de Tiro podem influenciar significativamente a precisão do tiro de AC, o estudo procurou identificar uma forma de reduzir este impacto. Considerando a precisão permitida pelos materiais utilizados pelos Observadores Avançados na localização de objetivos, conclui-se que o Observador Avançado consegue definir os elementos de localização do objetivo com maior precisão do que a atualmente estabelecida na doutrina nacional. Adotando a aproximação dos elementos métricos ao metro e dos elementos angulares ao milésimo podemos reduzir consideravelmente os erros de afastamento obtidos, conseguido reduzi-los para um máximo de 2 m, quando utilizando os arredondamentos estabelecidos podem ser superiores a 50 m, podendo mesmo atingir os 71 m.

Relativamente à modalidade proposta para os arredondamentos a utilizar no cálculo dos Elementos de Tiro, concluiu-se que não arredondar a distância na determinação do Ângulo de Sítio e do Fator de Correção Complementar de Sítio e arredondar o valor de alguns elementos intermédios, utilizados no cálculo da Direção e da Elevação, a mais uma casa decimal, permite reduzir significativamente os erros de afastamento obtidos. Na Elevação é possível uma redução no afastamento obtido de 41 m para 3 m quando executado tiro com o obus M119 LG 105 mm, de 66 m para 5 m no obus M114A1 155 mm e de 68 m para os 5 m no obus M109A2 155 mm. Valores que traduzem uma redução de cerca de 93% no valor do afastamento obtido. O impacto na Direção é menor, mas ainda assim, permite uma redução de cerca de 60% no erro de localização, permitindo passar de um erro máximo de 21 m para 9 m.

Em jeito de conclusão final, este estudo conclui que é possível reduzir o efeito dos arredondamentos na precisão do tiro. Os arredondamentos são inevitáveis e impossíveis de eliminar porque são intrínsecos ao cálculo e à precisão dos equipamentos utilizados. Contudo, atualmente a AC portuguesa já dispõe de equipamentos que permitem trabalhar com precisões maiores do que aquelas que estão na origem dos arredondamentos definidos pela atual doutrina. Isto implica que se os arredondamentos definidos forem adotados resultarão numa perda de precisão significativa no tiro a executar pelas unidades de Artilharia e que contraria a tendência atual do novo ambiente operacional, onde se pretende

que a Artilharia seja cada vez mais uma arma de precisão. Assim, em termos de métodos de localização de objetivos, não fará sentido falar em arredondamentos, mas sim em precisão mínima. Com equipamento que permitem localizações métricas ao metro e angulares ao milésimo, deverão ser estas as grandezas mínimas a utilizar pelos meios de Aquisição de Objetivos, podendo ser estabelecida uma grandeza de precisão mínima para que o ataque aos Objetivos se possa realizar com precisão. Não fará qualquer sentido estar a arredondar os elementos obtidos através destes equipamentos, uma vez que isso se traduzirá no envio ao PCT de uma localização errada e menos precisa do que a determinada pelo equipamento.

Em relação à determinação dos Elementos de Tiro, sempre que possível os cálculos intermédios devem ser efetuados utilizando todas as casas decimais, principalmente se forem efetuados por sistemas automáticos, e só devem ser arredondados no final de acordo com a precisão permitida pelos aparelhos de pontaria das bocas de fogo. No caso do cálculo manual, onde a utilização de todas as casas decimais poderá ser impraticável, é aconselhado não utilizar as distâncias arredondadas aos 100 m na determinação do Ângulo de Sítio e do Fator de Correção Complementar de Sítio. Uma vez que na pior das hipóteses este valor é fornecido com aproximação aos 10 m, pelo OpPlan, não se justifica o seu arredondamento, até porque os valores obtidos poderão deferir dos valores obtidos quando utilizada a Régua de Sítios. No cálculo dos valores intermédios utilizados na determinação da Elevação e da Direção, a utilização de mais uma casa decimal relativamente ao número de casas decimais do valor final pretendido, permitirá reduzir o erro de arredondamento associados a estes valores e consequentemente aumentar a precisão da localização do impacto. Para a Direção, e sempre que possível, os valores intermédios deverão ser utilizados com aproximação à décima do milésimo. Para a Elevação os valores que concorrem diretamente para o seu cálculo deverão ser determinados com aproximação à décima do milésimo e os valores que concorrem para a determinação do Sítio com aproximação à centésima do milésimo.

Face às conclusões deste estudo, propõe-se que as soluções apresentadas sejam adotadas em termos de doutrina nacional e sejam tidas em consideração numa futura revisão da PDE 3-38-13 - Tiro de Artilharia de Campanha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almacinha, J. A. (2016). *Introdução à Metrologia Dimensional*. Porto: Universidade do Porto
- Almeida, V. H. D. (2010). O Apoio de Fogos em Áreas Edificadas. *Revista da Artilharia*, (1022 a 1024), 387–403.
- Coimbra, A. J. P. D. (2011). O Ambiente Estratégico Internacional e as Novas Exigências. *Revista da Artilharia*, (1034 a 1036), 331–349.
- Cavaleiro, A. J. R., & Lopes, V. M. F. (2012). A Artilharia de Campanha. A incessante procura da precisão. *Revista de Artilharia*, 1046-1048, 333-344.
- Costa, A. (2003). Erros e Algarismos significativos. In *Gazeta de Física*. Acedido a 03 de dezembro de 2019 em <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/94/article/651/pdf>
- DAMIR (2015), *Excalibur Precision 155mm Projectiles (Excalibur)*. EUA, Acedido a 21 de março de 2018 em disponível em <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1019147.pdf>
- Dias, R. V. (2012). As Novas Ameaças e a Artilharia de Campanha. *Revista da Artilharia*, (1037 a 1039), 49–64.
- EME (1988). *MC 20-15 Bateria de Bocas de Fogo de Artilharia de Campanha*. Lisboa: Exército Português.
- EME (2004). *MC 20-100 Manual de Tática de Artilharia de Campanha*. Lisboa: Exército Português.
- EME (2012). *PDE 3-38-13 - Tiro de Artilharia de Campanha*. Lisboa: Exército Português.
- IPQ (2009) s/a. *NP 37 - Arredondamento de Valores Numéricos (3ª Edição)*. Caparica: Instituto Português da Qualidade
- Grilo, A. J. R. (2010). A Caracterização das Operações em Áreas Edificadas e os Contributos das Unidades de Artilharia. *Revista de Artilharia*, (1016 a 1018), 115–141.
- Matos, A. (2005). Apontamentos de Análise Numérica. In *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*. Acedido a 13 de outubro de 2019, em http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/lsousa/Teoria_actualMN/Cap%C3%ADtulo%201-erros.pdf
- Jung, C. F. (2009). Metodologia científica e tecnológica. Campinas: *Unicamp*, 60.
- Mimoso, J. C. P. (2015). O Atual Ambiente Operacional e as Ameaças Híbridas, Desafios para o Emprego da Artilharia de Campanha. *Revista da Artilharia*, (1082 a 1084), 47–59.

- Oliveira, R. (s/d). Curso de Cálculo Numérico. In *Universidade Federal do Rio de Janeiro*,
Acedido a 25 de novembro de 2019 em
<http://www.raymundodeoliveira.eng.br/erros.html>
- Pellegrino O., Ribeiro L. & Filipe E. (2014). Aspetos dos Algarismos Significativos em Metrologia. In *Boletim da Sociedade Portuguesa de Matemática*. Acedido a 10 de setembro de 2019 em <https://revistas.rcaap.pt/boletimspm/issue/view/958>
- Rodrigues, G. (2007). Defining accuracy and precision. *MLO: Medical Laboratory Observer*, 39(8), 20–23.
- Serranho P. (2017). Matemática Aplicada e Análise Numérica. In *Universidade Aberta*.
Acedido a 13 de novembro de 2019 em
<https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/7043/1/MAeAN.pdf>
- Silva, J. H. D. (2011). Precisão, Exatidão, e a Terminologia das Medições. *Physics Teacher*, 35, 15–17.
- Szondly, D. (2020). Excalibur S GPS/laser-guided artillery shell homes in on moving target. In New Atlas. Acedido a 12 de março de 2020 em newatlas.com/military/excalibur-s-gps-laser-guided-artillery-shell-moving-target/
- Thomsen, V. (1997). Precision and the terminology of measurement. *The Physics Teacher*, 35(1), 15–17. <https://doi.org/10.1119/1.2344579>
- USDA (1991). *FM 6-30 - Tactics, Techniques, and Procedures for Observed Fire*. Washington DC: U.S. Department of the Army.
- USDA (1999). *FM 6-40 - Tactics, Techniques, and Procedures for The Field Artillery Cannon Battery*. Washington DC: U.S. Department of the Army.
- USDA (2012). *ADRP 3-09 - Fires*. Washington DC: U.S. Department of the Army.
- USDA (2014). *FM 3-09 - Field Artillery Operations and Fire Support*. Washington DC: U.S. Department of the Army.
- USDA (2016). *TC 3-09.81 - Field Artillery Manual Cannon Gunnery*. Washington DC: U.S. Department of the Army.
- USDA (2017). *ATP 3-09.30 - Observed Fires*. Washington DC: U.S. Department of the Army.

Apêndice A – Arredondamento das Coordenadas aos 100 m (E e N)

Tabela 18 – Afastamento devido ao Arred das coordenadas aos 100 m (extrato)

Arredondamento E e N		Desvio (m)	Arredondamento E e N		Desvio (m)	Arredondamento E e N		Desvio (m)
E	N		E	N		E	N	
50	50	70,7	14	50	51,9	29	49	56,9
49	50	70,0	13	50	51,7	28	49	56,4
48	50	69,3	12	50	51,4	27	49	55,9
47	50	68,6	11	50	51,2	26	49	55,5
46	50	67,9	10	50	51,0	25	49	55,0
45	50	67,3	9	50	50,8	24	49	54,6
44	50	66,6	8	50	50,6	23	49	54,1
43	50	65,9	7	50	50,5	22	49	53,7
42	50	65,3	6	50	50,4	21	49	53,3
41	50	64,7	5	50	50,2	20	49	52,9
40	50	64,0	4	50	50,2	19	49	52,6
39	50	63,4	3	50	50,1	18	49	52,2
38	50	62,8	2	50	50,0	17	49	51,9
37	50	62,2	1	50	50,0	16	49	51,5
36	50	61,6	0	50	50,0	15	49	51,2
35	50	61,0	50	49	70,0	14	49	51,0
34	50	60,5	49	49	69,3	13	49	50,7
33	50	59,9	48	49	68,6	12	49	50,4
32	50	59,4	47	49	67,9	11	49	50,2
31	50	58,8	46	49	67,2	10	49	50,0
30	50	58,3	45	49	66,5	9	49	49,8
29	50	57,8	44	49	65,9	8	49	49,6
28	50	57,3	43	49	65,2	7	49	49,5
27	50	56,8	42	49	64,5	6	49	49,4
26	50	56,4	41	49	63,9	5	49	49,3
25	50	55,9	40	49	63,3	4	49	49,2
24	50	55,5	39	49	62,6	3	49	49,1
23	50	55,0	38	49	62,0	2	49	49,0
22	50	54,6	37	49	61,4	1	49	49,0
21	50	54,2	36	49	60,8	0	49	49,0
20	50	53,9	35	49	60,2	50	48	69,3
19	50	53,5	34	49	59,6	49	48	68,6
18	50	53,1	33	49	59,1	48	48	67,9
17	50	52,8	32	49	58,5	47	48	67,2
16	50	52,5	31	49	58,0	46	48	66,5
15	50	52,2	30	49	57,5	45	48	65,8

Apêndice B – Arredondamento das Coordenadas aos 10 m (E e N)

Tabela 19 – Afastamento devido ao Arred das coordenadas aos 10 m (extrato)

Arredondamento E e N		Desvio (m)	Arredondamento E e N		Desvio (m)	Arredondamento E e N		Desvio (m)
E	N		E	N		E	N	
10	10	14,1	7	7	9,9	4	4	5,7
9	10	13,5	6	7	9,2	3	4	5,0
8	10	12,8	5	7	8,6	2	4	4,5
7	10	12,2	4	7	8,1	1	4	4,1
6	10	11,7	3	7	7,6	0	4	4,0
5	10	11,2	2	7	7,3	10	3	10,4
4	10	10,8	1	7	7,1	9	3	9,5
3	10	10,4	0	7	7,0	8	3	8,5
2	10	10,2	10	6	11,7	7	3	7,6
1	10	10,0	9	6	10,8	6	3	6,7
0	10	10,0	8	6	10,0	5	3	5,8
10	9	13,5	7	6	9,2	4	3	5,0
9	9	12,7	6	6	8,5	3	3	4,2
8	9	12,0	5	6	7,8	2	3	3,6
7	9	11,4	4	6	7,2	1	3	3,2
6	9	10,8	3	6	6,7	0	3	3,0
5	9	10,3	2	6	6,3	10	2	10,2
4	9	9,8	1	6	6,1	9	2	9,2
3	9	9,5	0	6	6,0	8	2	8,2
2	9	9,2	10	5	11,2	7	2	7,3
1	9	9,1	9	5	10,3	6	2	6,3
0	9	9,0	8	5	9,4	5	2	5,4
10	8	12,8	7	5	8,6	4	2	4,5
9	8	12,0	6	5	7,8	3	2	3,6
8	8	11,3	5	5	7,1	2	2	2,8
7	8	10,6	4	5	6,4	1	2	2,2
6	8	10,0	3	5	5,8	0	2	2,0
5	8	9,4	2	5	5,4	10	1	10,0
4	8	8,9	1	5	5,1	9	1	9,1
3	8	8,5	0	5	5,0	8	1	8,1
2	8	8,2	10	4	10,8	7	1	7,1
1	8	8,1	9	4	9,8	6	1	6,1
0	8	8,0	8	4	8,9	5	1	5,1
10	7	12,2	7	4	8,1	4	1	4,1
9	7	11,4	6	4	7,2	3	1	3,2
8	7	10,6	5	4	6,4	2	1	2,2

Apêndice C – Arredondamento do RLO nas Coordenadas Polares

Tabela 20 – Afastamento devido ao Arred do RLO nas Coordenadas Polares

Distância OAv-Obj
3000

RLO (mils)	Coord Obj s/ Arred RLO		RLO (mils)	Coord Obj c/ Arred RLO		Diferença E e N		Desvio (m)
	ΔE	ΔN		ΔE	ΔN	E	N	
0	0,00	3000,00	0	0,00	3000,00	0,0	0,0	0,0
1	2,95	3000,00	0	0,00	3000,00	-2,9	0,0	2,9
2	5,89	2999,99	0	0,00	3000,00	-5,9	0,0	5,9
3	8,84	2999,99	0	0,00	3000,00	-8,8	0,0	8,8
4	11,78	2999,98	0	0,00	3000,00	-11,8	0,0	11,8
5	14,73	2999,96	10	29,45	2999,86	14,7	-0,1	14,7
6	17,67	2999,95	10	29,45	2999,86	11,8	-0,1	11,8
7	20,62	2999,93	10	29,45	2999,86	8,8	-0,1	8,8
8	23,56	2999,91	10	29,45	2999,86	5,9	-0,1	5,9
9	26,51	2999,88	10	29,45	2999,86	2,9	0,0	2,9
10	29,45	2999,86	10	29,45	2999,86	0,0	0,0	0,0
11	32,40	2999,83	10	29,45	2999,86	-2,9	0,0	2,9
12	35,34	2999,79	10	29,45	2999,86	-5,9	0,1	5,9
13	38,29	2999,76	10	29,45	2999,86	-8,8	0,1	8,8
14	41,23	2999,72	10	29,45	2999,86	-11,8	0,1	11,8
15	44,18	2999,67	20	58,90	2999,42	14,7	-0,3	14,7
16	47,12	2999,63	20	58,90	2999,42	11,8	-0,2	11,8
17	50,07	2999,58	20	58,90	2999,42	8,8	-0,2	8,8
18	53,01	2999,53	20	58,90	2999,42	5,9	-0,1	5,9
19	55,96	2999,48	20	58,90	2999,42	2,9	-0,1	2,9
20	58,90	2999,42	20	58,90	2999,42	0,0	0,0	0,0
21	61,85	2999,36	20	58,90	2999,42	-2,9	0,1	2,9
22	64,79	2999,30	20	58,90	2999,42	-5,9	0,1	5,9
23	67,73	2999,24	20	58,90	2999,42	-8,8	0,2	8,8
24	70,68	2999,17	20	58,90	2999,42	-11,8	0,3	11,8
25	73,62	2999,10	30	88,34	2998,70	14,7	-0,4	14,7
26	76,57	2999,02	30	88,34	2998,70	11,8	-0,3	11,8
27	79,51	2998,95	30	88,34	2998,70	8,8	-0,2	8,8
28	82,46	2998,87	30	88,34	2998,70	5,9	-0,2	5,9
29	85,40	2998,78	30	88,34	2998,70	2,9	-0,1	2,9
30	88,34	2998,70	30	88,34	2998,70	0,0	0,0	0,0
31	91,29	2998,61	30	88,34	2998,70	-2,9	0,1	2,9
32	94,23	2998,52	30	88,34	2998,70	-5,9	0,2	5,9
33	97,18	2998,43	30	88,34	2998,70	-8,8	0,3	8,8
34	100,12	2998,33	30	88,34	2998,70	-11,8	0,4	11,8

Apêndice D – Arredondamento do RLO e distância (polares)

Tabela 21 – Afastamento devido ao Arred do RLO e da Dist (Coordenadas Polares)

Dist OAv-Obj	600 m	1000 m	1500 m	2000 m	2500 m	3000 m
1 m	1,2	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1
	1,5	2,2	3,1	4,1	5,0	6,0
	2,0	3,1	4,5	6,0	7,4	8,9
	2,6	4,1	6,0	7,9	9,9	11,8
	3,1	5,0	7,4	9,9	12,3	14,8
	2,6	4,1	6,0	7,9	9,9	11,8
	2,0	3,1	4,5	6,0	7,4	8,9
	1,5	2,2	3,1	4,1	5,0	6,0
	1,2	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1
10 m	10,0	10,0	10,1	10,2	10,3	10,4
	10,1	10,2	10,4	10,7	11,1	11,6
	10,2	10,4	10,9	11,6	12,4	13,4
	10,3	10,8	11,6	12,7	14,0	15,5
	10,4	11,2	12,4	14,0	15,8	17,8
	10,3	10,8	11,6	12,7	14,0	15,5
	10,2	10,4	10,9	11,6	12,4	13,4
	10,1	10,2	10,4	10,7	11,1	11,6
	10,0	10,0	10,1	10,2	10,3	10,4
20 m	20,0	20,0	20,1	20,1	20,2	20,2
	20,0	20,1	20,2	20,4	20,6	20,9
	20,1	20,2	20,5	20,9	21,3	21,9
	20,1	20,4	20,9	21,5	22,3	23,2
	20,2	20,6	21,3	22,3	23,5	24,9
	20,1	20,4	20,9	21,5	22,3	23,2
	20,1	20,2	20,5	20,9	21,3	21,9
	20,0	20,1	20,2	20,4	20,6	20,9
	20,0	20,0	20,1	20,1	20,2	20,2
30 m	30,0	30,0	30,0	30,1	30,1	30,1
	30,0	30,1	30,1	30,3	30,4	30,6
	30,1	30,1	30,3	30,6	30,9	31,3
	30,1	30,3	30,6	31,0	31,6	32,3
	30,2	30,4	30,9	31,6	32,4	33,5
	30,1	30,3	30,6	31,0	31,6	32,3
	30,1	30,1	30,3	30,6	30,9	31,3
	30,0	30,1	30,1	30,3	30,4	30,6
	30,0	30,0	30,0	30,1	30,1	30,1
40 m	40,0	40,0	40,0	40,0	40,1	40,1
	40,0	40,1	40,1	40,2	40,3	40,4
	40,0	40,1	40,2	40,4	40,7	41,0
	40,1	40,2	40,4	40,8	41,2	41,7
...

Apêndice E – Arredondamentos na localização por desvios métricos

Tabela 22 – Afastamento devido ao Arred na localização por desvios métricos

E/D	Alg/Enc	E/D	Alg/Enc
0	1000	0	1000

Sem arredondamentos				Com arredondamentos				Diferença E e N		Desvio (m)
Desvios		Coordenadas		Desvios		Coordenadas		Obj		
Rumo	Dist	ΔE	ΔN	Rumo	Dist	ΔE	ΔN	E	N	
0	1000	0,0	1000,0	0	1000	0,0	1000,0	0,0	0,0	0,0
1	1000	1,0	1000,0	0	1000	0,0	1000,0	-1,0	0,0	1,0
2	1000	2,0	1000,0	0	1000	0,0	1000,0	-2,0	0,0	2,0
3	1000	2,9	1000,0	0	1000	0,0	1000,0	-2,9	0,0	2,9
4	1000	3,9	1000,0	0	1000	0,0	1000,0	-3,9	0,0	3,9
5	1000	4,9	1000,0	10	1000	9,8	1000,0	4,9	0,0	4,9
6	1000	5,9	1000,0	10	1000	9,8	1000,0	3,9	0,0	3,9
7	1000	6,9	1000,0	10	1000	9,8	1000,0	2,9	0,0	2,9
8	1000	7,9	1000,0	10	1000	9,8	1000,0	2,0	0,0	2,0
9	1000	8,8	1000,0	10	1000	9,8	1000,0	1,0	0,0	1,0
10	1000	9,8	1000,0	10	1000	9,8	1000,0	0,0	0,0	0,0
11	1000	10,8	999,9	10	1000	9,8	1000,0	-1,0	0,0	1,0
12	1000	11,8	999,9	10	1000	9,8	1000,0	-2,0	0,0	2,0
13	1000	12,8	999,9	10	1000	9,8	1000,0	-2,9	0,0	2,9
14	1000	13,7	999,9	10	1000	9,8	1000,0	-3,9	0,0	3,9
15	1000	14,7	999,9	20	1000	19,6	999,8	4,9	-0,1	4,9
16	1000	15,7	999,9	20	1000	19,6	999,8	3,9	-0,1	3,9
17	1000	16,7	999,9	20	1000	19,6	999,8	2,9	-0,1	2,9
18	1000	17,7	999,8	20	1000	19,6	999,8	2,0	0,0	2,0
19	1000	18,7	999,8	20	1000	19,6	999,8	1,0	0,0	1,0
20	1000	19,6	999,8	20	1000	19,6	999,8	0,0	0,0	0,0
21	1000	20,6	999,8	20	1000	19,6	999,8	-1,0	0,0	1,0
22	1000	21,6	999,8	20	1000	19,6	999,8	-2,0	0,0	2,0
23	1000	22,6	999,7	20	1000	19,6	999,8	-2,9	0,1	2,9
24	1000	23,6	999,7	20	1000	19,6	999,8	-3,9	0,1	3,9
25	1000	24,5	999,7	30	1000	29,4	999,6	4,9	-0,1	4,9
26	1000	25,5	999,7	30	1000	29,4	999,6	3,9	-0,1	3,9
27	1000	26,5	999,6	30	1000	29,4	999,6	2,9	-0,1	2,9
28	1000	27,5	999,6	30	1000	29,4	999,6	2,0	-0,1	2,0
29	1000	28,5	999,6	30	1000	29,4	999,6	1,0	0,0	1,0
30	1000	29,4	999,6	30	1000	29,4	999,6	0,0	0,0	0,0
31	1000	30,4	999,5	30	1000	29,4	999,6	-1,0	0,0	1,0
32	1000	31,4	999,5	30	1000	29,4	999,6	-2,0	0,1	2,0
33	1000	32,4	999,5	30	1000	29,4	999,6	-2,9	0,1	2,9

Apêndice F – Arredondamentos na Direção

Tabela 23 – Afastamento lateral provocado pelos Arred na Direção

Dist Top	Erros absolutos			ε_y (Cg 7) obus LG	ε_y (Cg 7WB) obus M114A1	ε_y (Cg 7WB) obus M109A2
	0,5 mils	1,0 mils	1,5 mils			
m	mils			m	m	m
3000	1,4	2,9	4,4	1	2	1
3100	1,5	3,0	4,6	1	1	1
3200	1,5	3,1	4,7	1	1	1
3300	1,6	3,2	4,9	1	1	1
3400	1,6	3,3	5,0	1	1	1
3500	1,7	3,4	5,2	1	1	1
3600	1,7	3,5	5,3	1	1	2
3700	1,8	3,6	5,4	1	1	2
3800	1,8	3,7	5,6	1	1	2
3900	1,9	3,8	5,7	1	1	2
4000	1,9	3,9	5,9	1	1	2
4100	2,0	4,0	6,0	1	1	2
4200	2,0	4,1	6,2	1	1	2
4300	2,1	4,2	6,3	1	1	2
4400	2,1	4,3	6,5	1	1	2
4500	2,1	4,4	6,6	1	1	2
4600	2,2	4,5	6,8	1	1	2
4700	2,2	4,6	6,9	1	1	2
4800	2,3	4,7	7,1	2	1	2
4900	2,3	4,8	7,2	2	1	2
5000	2,4	4,9	7,4	2	1	2
5100	2,4	5,0	7,5	2	1	2
5200	2,5	5,1	7,7	2	1	2
5300	2,5	5,2	7,8	2	2	2
5400	2,6	5,3	8,0	2	2	2
5500	2,6	5,4	8,1	2	2	2
5600	2,7	5,5	8,2	2	2	2
5700	2,7	5,6	8,4	2	2	2
5800	2,8	5,7	8,5	2	2	2
5900	2,8	5,8	8,7	2	2	2
6000	2,9	5,9	8,8	2	2	2
6100	2,9	6,0	9,0	2	2	2
6200	3,0	6,1	9,1	2	2	2
6300	3,0	6,2	9,3	2	2	2
6400	3,1	6,3	9,4	2	2	2
6500	3,1	6,4	9,6	2	2	2
6600	3,1	6,5	9,7	2	2	3
...

Apêndice G – Arredondamentos no cálculo do AngSi

Tabela 24 – Influência do Arred da Cota no AngSi

Distância	Sem arredondamentos			Cota Arredondada			Variação (mils)
	ΔZ	57	AngSi	ΔZ	55	AngSi	
3000			19,4			18,7	-0,70
3010			19,3			18,6	-0,70
3020			19,2			18,6	-0,60
3030			19,2			18,5	-0,70
3040			19,1			18,4	-0,70
3050			19,0			18,4	-0,60
3060			19,0			18,3	-0,70
3070			18,9			18,2	-0,70
3080			18,9			18,2	-0,70
3090			18,8			18,1	-0,70
3100			18,7			18,1	-0,60
3110			18,7			18,0	-0,70
3120			18,6			18,0	-0,60
3130			18,5			17,9	-0,60
3140			18,5			17,8	-0,70
...		

Tabela 25 – Influência do Arred da Distância no AngSi

Distância Real	Distância Arredondada	Sem arredondamentos			Distância Arredondada			Variação (mils)
		ΔZ	407	AngSi	ΔZ	407	AngSi	
3000	3000			138,2			138,2	0,00
3010	3000			137,7			138,2	0,50
3020	3000			137,3			138,2	0,90
3030	3000			136,8			138,2	1,40
3040	3000			136,4			138,2	1,80
3050	3100			135,9			133,7	-2,20
3060	3100			135,5			133,7	-1,80
3070	3100			135,0			133,7	-1,30
3080	3100			134,6			133,7	-0,90
3090	3100			134,2			133,7	-0,50
3100	3100			133,7			133,7	0,00
3110	3100			133,3			133,7	0,40
3120	3100			132,9			133,7	0,80
3130	3100			132,5			133,7	1,20
3140	3100			132,0			133,7	1,70
...

Tabela 26 – Influência do Arred da Cota e da Distância no AngSi

Distância Real	Distância Arredondada	Sem arredondamentos			Cota e Distância Arredondadas			Variação (mils)
		ΔZ	407	AngSi	ΔZ	405	AngSi	
3000	3000			138,2			137,5	-0,70
3010	3000			137,7			137,5	-0,20
3020	3000			137,3			137,5	0,20
3030	3000			136,8			137,5	0,70
3040	3000			136,4			137,5	1,10
3050	3100			135,9			133,1	-2,80
3060	3100			135,5			133,1	-2,40
3070	3100			135,0			133,1	-1,90
3080	3100			134,6			133,1	-1,50
3090	3100			134,2			133,1	-1,10
3100	3100			133,7			133,1	-0,60
3110	3100			133,3			133,1	-0,20
3120	3100			132,9			133,1	0,20
3130	3100			132,5			133,1	0,60
3140	3100			132,0			133,1	1,10
3150	3200			131,6			128,9	-2,70
3160	3200			131,2			128,9	-2,30
3170	3200			130,8			128,9	-1,90
3180	3200			130,4			128,9	-1,50
3190	3200			130,0			128,9	-1,10
3200	3200			129,6			128,9	-0,70
3210	3200			129,1			128,9	-0,20
3220	3200			128,7			128,9	0,20
3230	3200			128,3			128,9	0,60
3240	3200			128,0			128,9	0,90
3250	3300			127,6			125,0	-2,60
3260	3300			127,2			125,0	-2,20
3270	3300			126,8			125,0	-1,80
3280	3300			126,4			125,0	-1,40
3290	3300			126,0			125,0	-1,00
3300	3300			125,6			125,0	-0,60
3310	3300			125,2			125,0	-0,20
3320	3300			124,9			125,0	0,10
3330	3300			124,5			125,0	0,50
3340	3300			124,1			125,0	0,90
3350	3400			123,8			121,3	-2,50
3360	3400			123,4			121,3	-2,10
3370	3400			123,0			121,3	-1,70
...

Apêndice H – Arredondamentos no cálculo da CCAS e do Si

Tabela 27 – Influência dos Arred no Cálculo da CCAS e do Si

Carga 7 (LG)			ΔZ (Arred)		ΔZ (Real)					
			m		m					
			-405		-407					
Dist	FCCS		<Si	CCAS	SI	<Si	CCAS	SI	CCAS	SI
	(+1)	(-1)	0,1	0,1	1	S/ Arred	S/ Arred	1	≠	≠
m	mils	mils	mils	mils	mils	mils	mils	mils	mils	mils
3000	0,013	-0,013	-137,5	-1,8	-139	-138,2	-1,8	-140	0,0	-1
3010	0,013	-0,013	-137,5	-1,8	-139	-137,7	-1,8	-140	0,0	-1
3020	0,013	-0,013	-137,5	-1,8	-139	-137,3	-1,8	-139	0,0	0
3030	0,013	-0,013	-137,5	-1,8	-139	-136,8	-1,8	-139	0,0	0
3040	0,013	-0,013	-137,5	-1,8	-139	-136,4	-1,8	-138	0,0	1
3050	0,013	-0,013	-133,1	-1,8	-135	-135,9	-1,9	-138	-0,1	-3
3060	0,013	-0,013	-133,1	-1,8	-135	-135,5	-1,9	-137	-0,1	-2
3070	0,014	-0,014	-133,1	-1,8	-135	-135,0	-1,9	-137	-0,1	-2
3080	0,014	-0,014	-133,1	-1,8	-135	-134,6	-1,9	-137	-0,1	-2
3090	0,014	-0,014	-133,1	-1,8	-135	-134,2	-1,9	-136	-0,1	-1
3100	0,014	-0,014	-133,1	-1,8	-135	-133,7	-1,8	-136	0,0	-1
3110	0,014	-0,014	-133,1	-1,8	-135	-133,3	-1,8	-135	0,0	0
3120	0,014	-0,014	-133,1	-1,8	-135	-132,9	-1,8	-135	0,0	0
3130	0,014	-0,014	-133,1	-1,8	-135	-132,5	-1,8	-134	0,0	1
3140	0,014	-0,014	-133,1	-1,8	-135	-132,0	-1,8	-134	0,0	1
3150	0,014	-0,014	-128,9	-1,9	-131	-131,6	-1,9	-134	0,0	-3
3160	0,014	-0,014	-128,9	-1,9	-131	-131,2	-1,9	-133	0,0	-2
3170	0,014	-0,014	-128,9	-1,9	-131	-130,8	-1,9	-133	0,0	-2
3180	0,014	-0,014	-128,9	-1,9	-131	-130,4	-1,9	-132	0,0	-1
3190	0,015	-0,015	-128,9	-1,9	-131	-130,0	-1,9	-132	0,0	-1
3200	0,015	-0,015	-128,9	-1,9	-131	-129,6	-1,9	-131	0,0	0
3210	0,015	-0,015	-128,9	-1,9	-131	-129,1	-1,9	-131	0,0	0
3220	0,015	-0,015	-128,9	-1,9	-131	-128,7	-1,9	-131	0,0	0
3230	0,015	-0,015	-128,9	-1,9	-131	-128,3	-1,9	-130	0,0	1
3240	0,015	-0,015	-128,9	-1,9	-131	-128,0	-1,9	-130	0,0	1
3250	0,015	-0,015	-125,0	-1,9	-127	-127,6	-2,0	-130	-0,1	-3
3260	0,015	-0,015	-125,0	-1,9	-127	-127,2	-2,0	-129	-0,1	-2
3270	0,015	-0,015	-125,0	-1,9	-127	-126,8	-2,0	-129	-0,1	-2
3280	0,015	-0,015	-125,0	-1,9	-127	-126,4	-1,9	-128	0,0	-1
3290	0,015	-0,015	-125,0	-1,9	-127	-126,0	-1,9	-128	0,0	-1
3300	0,015	-0,015	-125,0	-1,9	-127	-125,6	-1,9	-128	0,0	-1
...

Apêndice I – Arredondamentos na Elevação

Tabela 28 – Afastamento longitudinal provocado pelos Arred na Elevação

Dist Top	Δ (1mils Elev) (Cg 7) obus LG	Δ (1mils Elev) (Cg 7WB) obus M114A1	Δ (1mils Elev) (Cg 7WB) obus M109A2	ε_a (1,5 mils)		
				LG	M114A1	M109A2
m	m	m	m	m	m	m
3000	27	44	45	41	66	68
3100	27	43	44	41	65	66
3200	26	43	43	39	65	65
3300	26	42	43	39	63	65
3400	25	41	42	38	62	63
3500	25	41	42	38	62	63
3600	24	40	41	36	60	62
3700	24	40	40	36	60	60
3800	24	39	40	36	59	60
3900	23	39	39	35	59	59
4000	23	38	39	35	57	59
4100	23	37	38	35	56	57
4200	22	37	38	33	56	57
4300	22	36	37	33	54	56
4400	22	36	37	33	54	56
4500	22	35	36	33	53	54
4600	21	35	35	32	53	53
4700	21	34	35	32	51	53
4800	21	34	34	32	51	51
4900	21	33	34	32	50	51
5000	20	33	33	30	50	50
5100	20	32	33	30	48	50
5200	20	32	32	30	48	48
5300	20	31	32	30	47	48
5400	19	31	31	29	47	47
5500	19	30	31	29	45	47
5600	19	30	30	29	45	45
5700	19	29	30	29	44	45
5800	19	29	29	29	44	44
5900	18	29	29	27	44	44
6000	18	28	29	27	42	44
6100	18	28	28	27	42	42
6200	18	27	28	27	41	42
6300	18	27	27	27	41	41
6400	17	27	27	26	41	41
...